

بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

محاسبات فنی تخصصی کتاب کار و تمرین هنرجو

رشته متالورژی

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره درس ۲۳۴۶

۶۲۰	علی محمدی، جمشید
۱۵۱/۰۰	محاسبات فنی تخصصی کتاب کار و تمرین هنرجو / مؤلفان: جمشید علی محمدی، امیرریاحی - [ویرایش دوم] -
م ۸۶۶ع /	تهران: شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۲
۱۳۹۲	۳۶۴ ص: مصور - (آموزش فنی و حرفه‌ای؛ شماره درس ۲۳۴۶)
	متون درسی رشته متالورژی، زمینه صنعت
	برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته متالورژی
	دفتر برنامه‌ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش و پرورش
	۱ متالورژی - آزمون‌ها و تمرین‌ها ۲ متالورژی - مسائل، تمرین‌ها الف علی محمدی، جمشید ب ایران
	وزارت آموزش و پرورش کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته متالورژی ج عنوان د فروست

همکاران محترم و دانش آموزان عزیز :

پیشنهادات و نظرات خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی
تهران - صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزش های
فنی و حرفه ای و کاردانش، ارسال فرمایند

پیام نگار (ایمیل) tvoccd@roshd.ir

وب گاه (وب سایت) www.tvoccd.medu.ir

محتوای این کتاب در کمیسیون تخصصی رشته متالورژی دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزش های
فنی و حرفه ای و کاردانش تأیید شده است

وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه ریزی آموزشی

برنامه ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزش های فنی و حرفه ای و کاردانش

نام کتاب : محاسبات فنی تخصصی کتاب کار و تمرین هنر جو - ۴۷۸/۱

مؤلفان : جمشید علی محمدی، امیر ریاحی

مجری : انتشارات گویش نو

نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۹-۸۸۸۳۱۱۶۱، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹

وب سایت : www.chap.sch.ir

صفحه آرا و طراح جلد : امیر ریاحی

ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب های درسی ایران : تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروبخش)

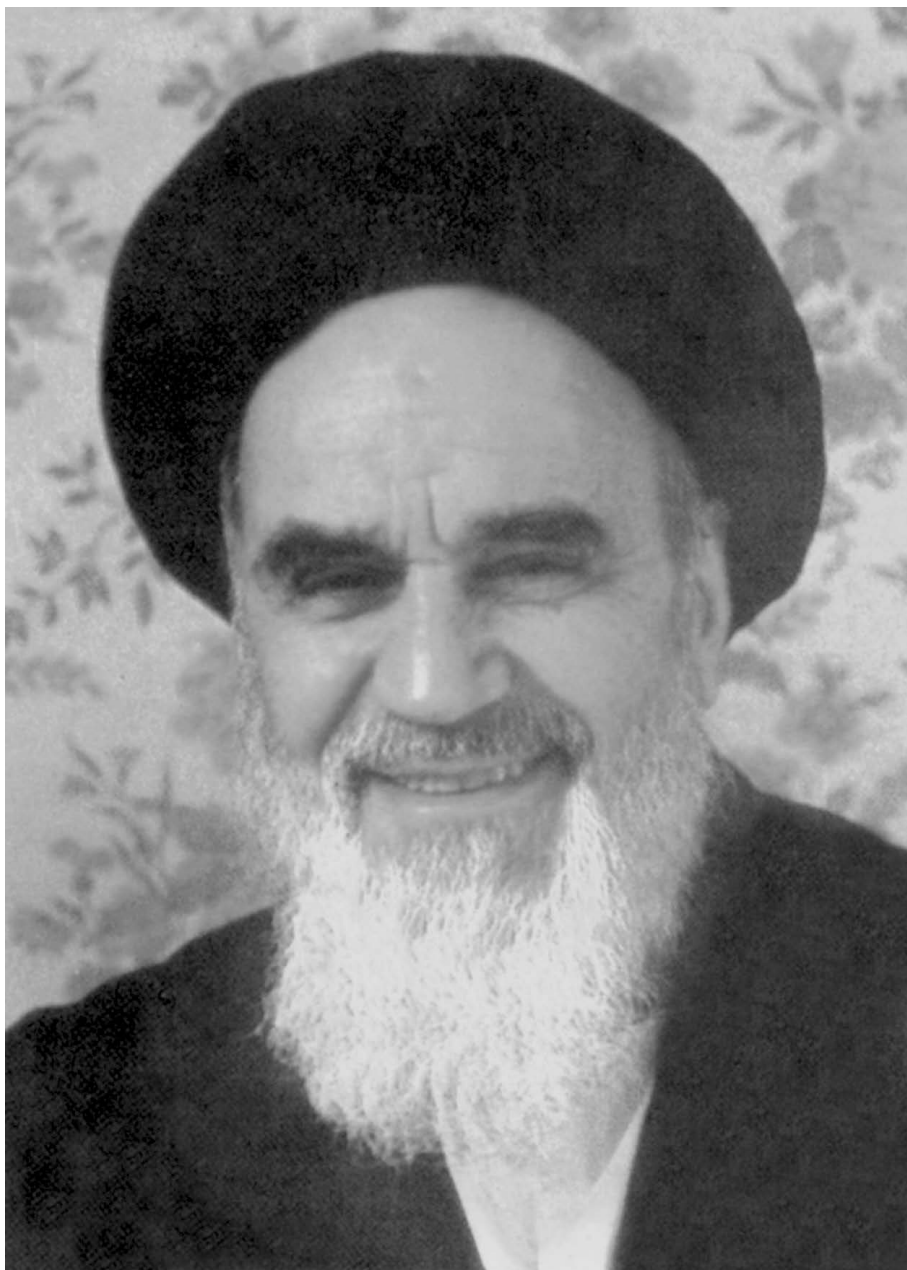
تلفن : ۵-۴۴۹۸۵۱۶۱، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۱۳۹-۳۷۵۱۵

چاپخانه : نادر

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ چهارم ۱۳۹۲

حق چاپ محفوظ است.

شابک ۹-۳۹-۵۰۸۴-۶۰۰-۹۷۸-978-600-5084-39-9



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتکای به اجانب بپرهیزید.

امام خمینی «قدس سرّه الشریف»

فهرست

صفحه	عنوان
	مقدمه
	فصل اول:
۱	انتقال حرارت
	فصل دوم:
۹۴	انبساط و انقباض اجسام
	فصل سوم:
۱۵۴	سوخت‌ها
	فصل چهارم:
۲۰۱	محاسبات ساده در ریخته‌گری
	فصل پنجم:
۲۴۹	فشار مذاب روی قالب
	فصل ششم:
۳۰۸	تغذیه‌گذاری در قطعه‌های ریخته‌گری
	فصل هفتم:
۳۳۲	سیستم راهگاهی

مقدمه

یکی از راهبردهای مهم یادگیری، انجام تمرین‌های متناسب با اصول یادگیری و تکرار آن است. این امر اگر همراه با گسترش مفاهیم و بر مبنای اصول یادگیری باشد، به یادگیری عمیق و پایدار خواهد انجامید. از طرفی چنانچه تمرین‌های مناسب به صورت ساده و پیچیده طراحی شود می‌تواند در کاربرد مفاهیم و اصول برای پیش‌بینی پدیده‌های دیگر کمک کند.

کتاب کار و تمرین هنرجوی درس محاسبات فنی تخصصی بر اساس برنامه درسی دوره متوسطه شاخه فنی و حرفه‌ای و به منظور امر یادگیری و کسب مهارت در حل مسائل و تمرین‌ها تألیف گردیده است. در این کتاب ابتدا بعضی از مفاهیم درسی با ذکر مصادیق تشریح شده است، و بعد از توسعه آن مفاهیم، مصادیق آن در قالب تمرین‌های طبقه‌بندی شده برای یادگیری بهتر آمده است.

هنرجویان باید همواره کتاب درسی را اصل قرار داده و برای آمادگی بیشتر انجام تکالیف، از این کتاب استفاده نمایند. بدیهی است کتاب کار در کنار کتاب درسی می‌تواند مفید باشد. ویژگی‌های این کتاب به طور خلاصه به شرح زیر است.

- ۱- کمک به توسعه و درک بهتر مفاهیم کتاب محاسبات فنی تخصصی و ایجاد مهارت برای حل مسائل مشابه.
 - ۲- شرح مفاهیم هر فصل از کتاب درسی بطور جدا از هم.
 - ۳- رعایت ترتیب در بیان مفاهیم.
 - ۴- بیان کامل مواردی که مفهوم آن‌ها در کتاب درسی به اجمال آمده و بیان اجمال مواردی که مفهوم آن‌ها در کتاب درسی به طور کامل آمده است (در محدوده کتاب درسی).
 - ۵- آوردن «سیمای فصل» در ابتدای هر فصل برای جمع‌بندی و برقراری ارتباط میان مفاهیم آمده است.
 - ۶- وجود شکل‌های مناسب جهت درک آسان‌تر مفاهیم.
 - ۷- آوردن مثال‌های حل شده برای درک بیشتر و آموزش روش حل مسائل.
 - ۸- تمرین‌های متناسب با مثال‌های حل شده.
 - ۹- طرح تمرین‌های متنوع از جمله مسائل امتحانات نهائی و تنظیم آن‌ها از ساده به مشکل.
- در پایان از هنرجویان عزیز و هنرآموزان گرانقدر تقاضا می‌شود پیشنهادهای اصلاحی خود را همراه با ذکر دلایل و روش حل به دفتر برنامه ریزی و تألیف آموزش‌های فنی و حرفه‌ای و کاردانش ارسال نمایند تا در چاپ‌های بعدی مورد توجه و استفاده قرار گیرد و به تحقق، بخشی از اهداف ذکر شده کمک نماید.

هدف کلی

یادگیری و کسب مهارت در حل مسائل و تمرین های مربوط
به درس محاسبات فنی تخصصی

سیمای فصل اول

انتقال حرارت

تعریف انتقال حرارت

- انواع انتقال حرارت
- ۱- انتقال حرارت به طریق هدایت
 - ۲- انتقال حرارت به طریق جابه‌جایی
 - ۳- انتقال حرارت به طریق تشعشع

- رابطه انتقال حرارت به طریق هدایت
- واحدهای انتقال حرارت
- رسم دیاگرام توزیع درجه حرارت در ضخامت دیواره
- تعریف شدت جریان حرارتی مخصوص
- واحد شدت جریان حرارتی مخصوص
- هدایت حرارتی دیواره و رابطه آن
- تعریف مقاومت حرارتی
- رابطه انتقال حرارت برای دیواره مسطح چند لایه
- رابطه انتقال حرارت برای دیواره‌های استوانه‌ای شکل
- رابطه ضریب هدایت حرارتی معادل، برای دیواره‌های استوانه‌ای شکل چند لایه
- رابطه انتقال حرارت برای دیواره‌های چند لایه استوانه‌ای شکل:
- رابطه انتقال حرارت به طریق جابه‌جایی

انتقال حرارت

دما چیست: دما کمیتی است که میزان سردی و گرمی جسم را مشخص می کند
واحدهای دما: واحدهای دما عبارتند از درجه سلسیوس (سانتیگراد) ($^{\circ}\text{C}$) ، درجه فارنهایت و درجه کلونین (k)
واحدهای گرما: کالری (cal)، کیلوکالری (kcal)، ژول (j)، کیلوژول (kJ) و U.T.B
توان چیست: مقدار گرمای انتقال یافته در واحد زمان را توان گویند
واحدهای توان: وات (W)، کیلووات (kW)
تعریف انتقال حرارت: قوانینی که نحوه پخش و انتشار گرما را بر اثر تفاوت درجه حرارت بین اجسام گوناگون بررسی می کنند را انتقال حرارت گویند.

انواع انتقال حرارت: تبادل گرما بین اجسام به سه طریق انجام می گیرد.

۱- هدایت (رسانائی) ۲- جابه جایی (همرفت یا کنوکسیون) ۳- تشعشع (تابش)

رابطه انتقال حرارت به طریق هدایت:

- مقدار حرارت انتقال یافته با سطح نسبت مستقیم دارد یعنی اگر سطح پنجره شیشه ای هرچه بزرگ تر باشد،

مقدار حرارت بیشتری منتقل می کند: $Q \propto A \leftarrow$

(Q : مقدار گرما و A سطح جسم)

- مقدار حرارت انتقال یافته با ضخامت دیواره با جسم نسبت عکس دارد، یعنی دیواره های که ضخامت زیادتری

دارند مقدار حرارت کمتری را منتقل می کنند. $Q \propto \frac{1}{d} \leftarrow$

(d : ضخامت جسم یا دیواره)

- مقدار حرارت انتقال یافته با اختلاف دما نسبت مستقیم دارد یعنی هرچه اختلاف درجه حرارت دو سر میله

یا دو طرف یک دیواره بیشتر باشد گرمای بیشتری را از خود انتقال می دهند

$Q \propto \Delta\theta$ ($\Delta\theta$: اختلاف درجه حرارت).

- مقدار حرارت انتقال یافته با زمان نسبت مستقیم دارد یعنی هرچه زمان بیشتر باشد گرمای بیشتری از میله

منتقل می شود $Q \propto t$ (t : زمان)

- مقدار حرارت انتقال یافته به جنس جسم بستگی دارد.

- بنابراین انتقال حرارت (Q) عبارت است از:

$$Q \propto \frac{A(\theta_2 - \theta_1)t}{d}$$

برای تبدیل تناسب به تساوی به ضریب نیاز است که به آن ضریب تناسب گویند و آن را با k نشان می دهند.

بنابراین رابطه انتقال حرارت به صورت زیر می‌باشد:

$$Q = k \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d} \quad \text{رابطه (۱-۱)}$$

k ضریب تناسبی است که مقدار آن برای هر جسمی ثابت است و به جنس جسم بستگی دارد، این ضریب را در رابطه (۱-۱) ضریب هدایت حرارتی گویند.

جدول (۱-۱)

θ_p	θ_1	d	t	A	Q	پارامتر
$^{\circ}\text{C} - ^{\circ}\text{K}$	$^{\circ}\text{K} - ^{\circ}\text{C}$	cm m	hr, s, min	cm^2 m^2	cal- kcal j - kj	واحد

با توجه به جدول (۱-۱) واحد ضریب هدایت حرارتی (k) به صورت زیر به دست می‌آید.

$$Q = k \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d} \quad \text{طرفین و وسطین انجام می‌دهیم}$$

$$KA (\theta_p - \theta_1)t = Qd \quad \text{طرفین تقسیم بر ضریب k}$$

$$K = \frac{Qd}{A(\theta_p - \theta_1)t} \quad \text{رابطه (۱-۲)}$$

$$K = \frac{\text{cal.cm}}{\text{cm}^2 \cdot ^{\circ}\text{C.s}} \quad \text{با جا گذاری واحدهای معلوم}$$

$$K = \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^{\circ}\text{C.s}} \quad \frac{\text{کالری}}{\text{ثانیه} \times \text{سانتی‌گراد} \times \text{سانتی‌متر}}$$

$$\text{با جایگزین کردن واحدها} \quad K = \frac{Qd}{A(\theta_p - \theta_1)t} \quad \text{در سیستم SI داریم}$$

$$K = \frac{\text{j.m}}{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{K.s}}$$

$$K = \frac{\text{j}}{\text{m} \cdot \text{K.s}} = \frac{\frac{\text{j}}{\text{s}}}{\text{m} \cdot \text{K}}$$

با توجه به این که $w = \frac{\text{j}}{\text{s}}$ و $T_p^{\circ\text{K}} = T_1^{\circ\text{K}} = \theta_p^{\circ\text{C}} = \theta_1^{\circ\text{C}}$ مطابق زیر خواهیم داشت

$$\left. \begin{array}{l} T_p^{(^{\circ}\text{K})} = 273 + \theta_p(^{\circ}\text{C}) \\ T_1^{(^{\circ}\text{K})} = 273 + \theta_1(^{\circ}\text{C}) \end{array} \right\} \Rightarrow T_p^{(^{\circ}\text{K})} - T_1^{(^{\circ}\text{K})} = 273 + \theta_p(^{\circ}\text{C}) - 273 - \theta_1(^{\circ}\text{C}) = \theta_p(^{\circ}\text{C}) - \theta_1(^{\circ}\text{C})$$

$$\text{در سیستم SI} \quad K = \frac{w}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

اگر واحد مقدار حرارت کیلوکالری باشد (Q kcal) واحد ضریب هدایت حرارتی برابر است با:

$$K = \frac{Qd}{A(\theta_p - \theta_1)t} \quad \text{از رابطه (۱-۲) خواهیم داشت}$$

با جایگزین واحدها

$$K \frac{\text{kcal.m}}{\text{m}^{\circ} \cdot \text{c} \cdot \text{hr}} \rightarrow K \frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot \text{c}}$$

تبدیل واحدهای K: برای تبدیل واحد $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$ به واحد $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{c}}$ بصورت زیر عمل می‌شود.

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}} \quad \frac{4/2 \text{ J}}{0/0 \text{ m} \cdot \text{c} \cdot \text{s}} \quad \frac{420 \text{ J}}{\text{m} \cdot \text{c} \cdot \text{s}} \quad 420 \frac{\text{J/s}}{\text{m} \cdot \text{c}}$$

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}} \quad 420 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{c}}$$

اگر $\frac{\text{J}}{\text{s}}$ باشد خواهیم داشت:

تمرین ۱-۱: اگر ضریب هدایت حرارتی یک جسمی $1 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$ باشد، مقدار ضریب هدایت حرارتی برحسب $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{c}}$ چقدر خواهد بود (از دو راه).
حل (توسط هنرجو):

مثال ۱-۱: اگر ضریب هدایت حرارتی یک جسم $50 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$ باشد مقدار ضریب هدایت حرارتی را برحسب $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{c}}$ حساب کنید. (حل از دو راه)

راه حل اول:

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}} \quad 420 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{c}}$$

$$50 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}} \quad 50 \times \left(1 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}} \right)$$

$$50 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}} = 50 \times \left(420 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{c}} \right) \rightarrow 50 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}} = 21000 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{c}}$$

راه حل دوم استفاده از تناسب:

$$\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}} \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{c}}$$

$$1 \quad 420$$

$$50 \quad X$$

$$X \quad \frac{420 \times 50}{1}$$

$$X \quad 21000 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{c}}$$

تمرین ۱-۲: اگر ضریب هدایت حرارتی یک جسمی $10500 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ باشد، مقدار ضریب هدایت حرارتی این جسم را برحسب $\frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$ حساب کنید (از دو راه):
حل (توسط هنجو):

مثال ۱-۲: اگر ضریب هدایت حرارتی جسمی $8400 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ باشد، مقدار ضریب هدایت حرارتی برحسب $\frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$ چقدر خواهد بود (از دو راه راه حل اول)

$$1 \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s} \quad 420 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

طرفین رابطه را بر ۴۲۰ تقسیم می‌کنیم:

$$\frac{1}{420} \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s} \quad \frac{420}{420} \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

$$\frac{1}{420} \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s} \quad 1 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

$$8400 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \quad 8400 \times \left(1 \frac{W}{m \cdot ^\circ C} \right)$$

$$\Rightarrow 8400 \times \left(\frac{1}{420} \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s} \right)$$

$$\Rightarrow \left(8400 \times \frac{1}{420} \right) \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$$

$$\Rightarrow 20 \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$$

راه حل دوم، استفاده از تناسب:

$$\frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s} \quad \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

$$1 \quad 420$$

$$X \quad 8400$$

$$X \quad \frac{8400 \times 1}{420}$$

$$X \quad 20 \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$$

برای تبدیل واحد $\frac{\text{cal}}{\text{cm.hr.}^{\circ}\text{C}}$ به واحد $\frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$ به صورت زیر عمل می‌شود.
 هر یک کالری، $\frac{4}{2}$ ژول و هر کیلوکالری، 1000 کالری می‌باشد، لذا خواهیم داشت

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{m.hr.}^{\circ}\text{C}} = \frac{1000 \times 4/2 \text{ J}}{\text{m} \times 3600 \text{ s.}^{\circ}\text{C}}$$

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^{\circ}\text{C}} = \frac{4200 \text{ J}}{3600 \text{ m.s.}^{\circ}\text{C}}$$

صورت و مخرج را بر ثانیه (s) تقسیم می‌کنیم

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^{\circ}\text{C}} = \frac{4200}{3600} \times \frac{\frac{\text{J}}{\text{s}}}{\text{m.}^{\circ}\text{C}}$$

می‌دانیم که $\frac{\text{J}}{\text{s}}$ می‌باشد لذا خواهیم داشت:

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^{\circ}\text{C}} = 1/163 \frac{\text{W}}{\text{m.}^{\circ}\text{C}}$$

تمرین ۱-۳: اگر ضریب هدایت حرارتی یک جسم $150 \frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^{\circ}\text{C}}$ باشد، مقدار ضریب هدایت حرارتی این جسم بر حسب $\frac{\text{W}}{\text{m.}^{\circ}\text{C}}$ چقدر خواهد بود (از دو راه حل شود). حل (توسط هنرجو):

مثال ۱-۳: اگر ضریب هدایت حرارتی یک جسم $10 \frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^{\circ}\text{C}}$ باشد، مقدار ضریب هدایت حرارتی بر حسب $\frac{\text{W}}{\text{m.}^{\circ}\text{C}}$ چقدر خواهد بود. (از دو راه).

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^{\circ}\text{C}} = 1/163 \frac{\text{W}}{\text{m.}^{\circ}\text{C}}$$

راه حل اول:

$$10 \frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^{\circ}\text{C}} = 10 \times \left(1 \frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^{\circ}\text{C}} \right)$$

$$10 \frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^{\circ}\text{C}} = 10 \times \left(1/163 \frac{\text{W}}{\text{m.}^{\circ}\text{C}} \right)$$

$$10 \frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^{\circ}\text{C}} = 11/63 \frac{\text{W}}{\text{m.}^{\circ}\text{C}}$$

راه حل دوم استفاده از تناسب:

$\frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^{\circ}\text{C}}$	$\frac{\text{W}}{\text{m.}^{\circ}\text{C}}$
1	1/163
10	X

	$x \frac{10 \times 1/163}{1}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $x \frac{11/63 \frac{w}{m.^{\circ}c}}{m.^{\circ}c}$ </div>
<p>تمرین ۱-۴: اگر ضریب هدایت حرارتی یک جسم $70 \frac{w}{m.^{\circ}c}$ باشد، مقدار ضریب هدایت حرارتی این جسم برحسب $\frac{kcal}{m.hr.^{\circ}c}$ چقدر خواهد بود (از دو راه حل شود). حل (توسط هنرجو):</p>	<p>مثال ۱-۴: اگر ضریب هدایت حرارتی جسمی $34 \frac{w}{m.^{\circ}c}$ باشد، مقدار ضریب هدایت حرارتی برحسب $\frac{kcal}{m.hr.^{\circ}c}$ چقدر می‌باشد. (از دو راه).</p> <p>راه حل اول: $1 \frac{kcal}{m.hr.^{\circ}c} \quad 1/163 \frac{w}{m.^{\circ}c}$</p> <p>طرفین رابطه را بر عدد $1/163$ تقسیم می‌کنیم:</p> $\frac{1}{1/163} \frac{kcal}{m.hr.^{\circ}c} = \frac{1/163}{1/163} \frac{w}{m.^{\circ}c}$ $\Rightarrow \frac{1}{1/163} \frac{kcal}{m.hr.^{\circ}c} = 1 \frac{w}{m.^{\circ}c}$ $\Rightarrow 34 \frac{w}{m.^{\circ}c} = 34 \times \left(1 \frac{w}{m.^{\circ}c} \right)$ $34 \frac{w}{m.^{\circ}c} = 34 \times \left(\frac{1}{1/163} \frac{kcal}{m.hr.^{\circ}c} \right)$ $34 \frac{w}{m.^{\circ}c} = \frac{34}{1/163} \frac{kcal}{m.hr.^{\circ}c}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $34 \frac{w}{m.^{\circ}c} = 29/235 \frac{kcal}{m.hr.^{\circ}c}$ </div> <p>راه حل دوم استفاده از تناسب</p> $\frac{\frac{kcal}{m.hr.^{\circ}c}}{1} = \frac{\frac{w}{m.^{\circ}c}}{1/163} \quad x \frac{34 \times 1}{1/163}$ $x \quad 34$ $x \quad 29/235 \frac{kcal}{m.hr.^{\circ}c}$

چند مثال در رابطه با انتقال حرارت به روش هدایت (رسانایی) طبق رابطه (۱-۱)

تمرین ۵-۱: جداره‌ای به ضخامت ۲۰cm با سطح مقطع $۰/۰۰۰۴m^2$ در مجاورت یک منبع حرارتی به مدت ۷۲۰ ثانیه قرار دارد، اگر درجه حرارت یک طرف آن $۱۸۰^{\circ}C$ و طرف دیگر آن $۴۵^{\circ}C$ باشد، چه مقدار گرما برحسب کیلوژول از خود انتقال می‌دهد. ضریب هدایت حرارتی میله $۰/۱۵ \frac{cal}{cm \cdot s \cdot ^{\circ}C}$ می‌باشد. حل (توسط هنرجو):

مثال ۵-۱: میله‌ای به طول $۰/۴m$ و سطح مقطع $۸cm^2$ در مجاورت یک منبع حرارتی به مدت ۱۰ دقیقه قرار دارد، اگر درجه حرارت یک سر میله $۲۵^{\circ}C$ و سر دیگر آن $۵۰^{\circ}C$ باشد، چه مقدار گرما برحسب کیلوکالری از خود انتقال می‌دهد. ضریب هدایت حرارتی میله $۰/۲۶ \frac{cal}{cm \cdot s \cdot ^{\circ}C}$ می‌باشد؟

حل: مرحله (۱): داده‌ها و خواسته‌ها مساله به طور خلاصه نوشته شود.

خواسته‌ها	داده‌ها
$Q \text{ ? kcal}$	$d \text{ } ۰/۴m$ $A \text{ } ۸cm^2$ $t \text{ } ۱۰min$ $\theta_p \text{ } ۲۵^{\circ}C$ $\theta_1 \text{ } ۵۰^{\circ}C$ $k \text{ } ۰/۲۶ \frac{cal}{cm \cdot s \cdot ^{\circ}C}$ میله

مرحله (۲) تبدیل واحد: در این مثال واحد طول از متر به سانتی‌متر و واحد زمان از دقیقه به ثانیه تبدیل می‌شود.

$$\begin{cases} d \text{ } ۰/۴m \\ d \text{ } ۰/۴ \times ۱۰۰cm \\ d \text{ } ۴۰cm \end{cases} \quad \begin{cases} t \text{ } ۱۰min \\ t \text{ } ۱۰ \times ۶۰s \\ t \text{ } ۶۰۰s \end{cases}$$

مرحله (۳) رابطه مرتبط با مساله نوشته می‌شود.

$$Q = K \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d}$$

	<p>مرحله ۴) مقادیر داده‌ها در رابطه جای گذاری می‌شود.</p> $Q = 0.26 \frac{8(250 - 50)600}{40}$ <p>مرحله ۵) محاسبه ریاضی رابطه</p> $Q = \frac{0.26 \times 8 \times 200 \times 600}{40}$ $Q = 6240 \text{ cal}$ <p>توجه: در اینجا چون گرما را برحسب کیلوکالری خواسته لذا واحد گرما از cal به کیلوکالری (kcal) تبدیل می‌کنیم:</p> $1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal}$ $1 \text{ cal} = \frac{1}{1000} \text{ kcal}$ $Q = 6240 \times \frac{1}{1000}$ $Q = 6.24 \text{ kcal}$
<p>تمرین ۶-۱: یک قطعه آهنی به طول ۷۵cm و سطح مقطع 36 cm^2 در مجاورت یک منبع حرارتی در مدت ۵ دقیقه قرار می‌گیرد. اگر دمای دو سر میله به ترتیب 175°C و 50°C باشد، مقدار حرارت انتقال یافته را برحسب ژول حساب کنید (توجه: ضریب هدایت حرارتی آهن $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ ۷۶/۶ می‌باشد)</p> <p>حل (توسط هنرجو):</p>	<p>مثال ۶-۱: یک میله آهنی با طول ۱m و سطح مقطع 0.49 m^2 در مجاورت یک منبع حرارتی در مدت ۲۰s قرار می‌گیرد، اگر دمای دو سر میله به ترتیب 100°C و 25°C باشد، مقدار حرارت انتقال یافته را برحسب ژول حساب کنید (توجه: ضریب هدایت حرارتی آهن $\frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ ۷۵/۴ می‌باشد)</p> <p>حل:</p> <p>مرحله ۱): داده‌ها و خواسته‌ها به صورت خلاصه همراه با واحدها نوشته شود.</p>

خواسته‌ها	داده‌ها
$Q \text{ ? j}$	$d \text{ } 1\text{m}$ $A \text{ } 0/49\text{m}^2$ $\theta_p \text{ } 100^\circ\text{C}$ $\theta_1 \text{ } 25^\circ\text{C}$ $k \text{ } 75/4 \frac{\text{W}}{\text{m}\cdot^\circ\text{C}}$ آهن

مرحله ۲) تبدیل واحد: با توجه به واحد داده‌ها، در صورت نیاز تبدیل واحد انجام می‌گیرد ولی با توجه به واحد داده‌ها، تبدیل واحد نیاز نمی‌باشد.

مرحله ۳: رابطه مرتبط با مساله نوشته می‌شود.

$$Q = K \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d}$$

مرحله ۴: مقادیر داده‌ها در رابطه جای‌گذاری می‌شوند

$$Q = 75/4 \frac{0/49(100 - 25)20}{1}$$

مرحله ۵: محاسبه ریاضی رابطه فوق انجام می‌گیرد.

$$Q = \frac{75/4 \times 0/49 \times 75 \times 20}{1}$$

$$Q = 55419 \text{ J}$$

تمرین ۷-۱: میله‌ای به طول $0/15\text{m}$ در مجاورت منبع حرارتی به مدت نیم ساعت قرار می‌گیرد، اگر درجه حرارت یک سر میله 48°C و سر دیگر آن 12°C می‌باشد و مقدار گرمای انتقال یافته 180 kcal باشد، سطح مقطع میله چند سانتی‌متر مربع خواهد بود. ضریب هدایت حرارتی میله $350 \text{ kcal/m}\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}$ می‌باشد.

حل (توسط هنرجو):

مثال ۷-۱: میله‌ای به طول 20cm در مجاورت منبع حرارتی به مدت ۳۰ دقیقه قرار می‌گیرد، اگر درجه حرارت یک سر میله 50°C و سر دیگر آن 15°C باشد و مقدار گرمای انتقال یافته 50 kcal باشد، سطح مقطع میله چند سانتی‌متر مربع خواهد بود. ضریب هدایت حرارتی میله $400 \frac{\text{kcal}}{\text{m}\cdot\text{hr}\cdot^\circ\text{C}}$ می‌باشد.

حل: مرحله ۱: داده‌ها و خواسته‌ها به طور خلاصه

نوشته شود.

داده‌ها	خواسته‌ها
d ۲۰۰cm	A ?cm ^۲
t ۳۰min	
θ_p ۵۰°c	
θ_1 ۱۵۰°c	
Q ۵۰۰kcal	
k ۴۰۰ $\frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^\circ\text{c}}$	

مرحله ۲) تبدیل واحد: واحد طول از سانتی‌متر به

متر و واحد زمان از دقیقه به ساعت تبدیل می‌گردد.

$$\left\{ \begin{array}{l} d \ 200\text{cm} \\ d \ 200 \times \frac{1}{100} \text{m} \\ d \ \frac{200}{100} \text{m} \\ d \ 2\text{m} \end{array} \right. \left\{ \begin{array}{l} t \ 30\text{min} \\ t \ 30 \times \frac{1}{60} \text{hr} \\ t \ \frac{30}{60} \text{hr} \\ t \ \frac{1}{2} \text{hr} \\ t \ 0.5\text{hr} \end{array} \right.$$

مرحله ۳) رابطه انتقال حرارت نوشته می‌شود.

$$Q = K \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d}$$

مرحله ۴) جای‌گذاری داده‌ها در رابطه فوق:

$$500 = 400 \frac{A(50 - 150)0.5}{2}$$

مرحله ۵) محاسبات ریاضی انجام می‌گیرد

$$500 = \frac{400 \times A \times 350 \times 0.5}{2}$$

	$500 \frac{A \times 70000}{2}$ <p>طرفین رابطه بر ضریب مجهول (A) تقسیم می‌شود.</p> $\frac{500}{35000} \frac{A \times 35000}{35000}$ <p>مرحله ۶): چون سطح مقطع بر حسب سانتی‌متر مربع خواسته شده لذا در اینجا واحد مترمربع را به سانتی‌مترمربع تبدیل می‌کنیم.</p> $1m^2 = 10000cm^2$ $A = 0.014m^2 = 0.014(1m^2)$ $A = 0.014 \times 10000cm^2$ <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">A 140cm²</div>
<p>تمرین ۸-۱: دیواره‌ای به طول ۴۵ m و عرض ۰/۳۵m در مجاورت یک منبع حرارتی به مدت ۴۵ دقیقه قرار می‌گیرد، درجه حرارت دو طرف دیواره به ترتیب ۲۵°C و ۴۵°C می‌باشد، اگر مقدار حرارت انتقال یافته ۲۵۰۰۰ cal باشد، ضخامت دیواره چند متر می‌باشد (ضریب هدایت حرارتی دیواره $\frac{cal}{cm \cdot c \cdot s} = 0.0023$ می‌باشد).</p> <p>حل (توسط هنرجو):</p>	<p>مثال ۸-۱: دیواره‌ای به طول ۳۰ cm و عرض ۴۰ cm در مجاورت یک منبع حرارتی به مدت ۱ ساعت قرار می‌گیرد. درجه حرارت دو طرف دیواره به ترتیب ۲۰°C و ۴۵°C می‌باشد، اگر مقدار حرارت انتقال یافته ۲۰ kcal باشد، ضخامت دیواره چند سانتی‌متر می‌باشد (ضریب هدایت حرارتی دیواره $\frac{cal}{cm \cdot c \cdot s} = 0.0025$ می‌باشد).</p> <p>حل:</p> <p>مرحله ۱) داده‌ها و خواسته‌ها را در یک جدول می‌نویسیم</p>

خواسته‌ها	داده‌ها
	A ۳۰×۴۰ ۱۲۰۰cm ^۲
	t ۱h
d ?cm	θ_p ۲۰۰°C
	θ_1 ۴۵°C
	k ۰/۰۰۲۵ $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$
	Q ۲۰kcal

مرحله ۲) تبدیل واحد: در اینجا زمان از ساعت به ثانیه و حرارت انتقال یافته از kcal به cal تبدیل می‌شود.

$$\begin{cases} t \quad 1h \\ d \quad 1 \times 3600s \\ t \quad 3600s \end{cases} \quad \begin{cases} Q \quad 20kcal \\ Q \quad 20 \times 1000cal \\ Q \quad 20000cal \end{cases}$$

مرحله ۳) رابطه ریاضی مربوط به مساله نوشته

$$Q = K \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d} \quad \text{می‌شود.}$$

مرحله ۴) مقادیر داده‌ها در رابطه فوق جای‌گذاری

می‌شود.

$$20000 = 0/0025 \frac{1200(200 - 45)3600}{d}$$

مرحله ۵) حل رابطه ریاضی مساله

$$20000 = \frac{0/0025 \times 1200 \times 155 \times 3600}{d}$$

$$\frac{20000}{1} = \frac{1674000}{d}$$

در رابطه فوق طرفین و وسطین انجام می‌دهیم

$$20000d = 1674000$$

طرفین رابطه را بر ضریب مجهول (d) تقسیم

می‌کنیم

$$\frac{20000d}{20000} = \frac{1674000}{20000}$$

$$d = 83.7 \text{ cm}$$

تمرین ۹-۱: جداره مستطیلی به ابعاد $۰/۴ \times ۰/۶۵$ متر و به ضخامت ۹۵۰mm در مجاورت یک منبع حرارتی به مدت ۱۸۰۰ ثانیه قرار می‌گیرد، اگر مقدار حرارت انتقال یافته ۳۵kJ باشد، مقدار اختلاف درجه حرارت دو طرف دیواره چقدر خواهد بود (ضریب هدایت حرارتی دیوار $۰/۷۳ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{C}}$ می‌باشد).
حل (توسط هنرجو):

مثال ۹-۱: دیواره‌ای به ابعاد ۵۰×۷۰ سانتی‌متر و به ضخامت ۱۰۰cm در مجاورت یک منبع حرارتی به مدت ۴۵ دقیقه قرار می‌گیرد، اگر مقدار حرارت انتقال یافته ۳۰۰۰۰J باشد، مقدار اختلاف درجه حرارت دو طرف دیواره چقدر خواهد بود (ضریب انتقال حرارت دیواره $۰/۶۳ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{C}}$ می‌باشد).
حل: مرحله (۱): داده‌ها و خواسته‌ها به صورت خلاصه

همراه با واحدهای آن نوشته شود.

داده‌ها	خواسته‌ها
$A \quad ۵۰ \times ۷۰ \quad ۳۵۰۰\text{cm}^2$	
$d \quad ۱۰۰\text{cm}$	
$t \quad ۴۵\text{min}$	$\Delta\theta \quad \theta_p \quad \theta_1$
$Q \quad ۳۰۰۰۰\text{J}$	$\Delta\theta \quad ?^\circ\text{C}$
$k \quad ۰/۶۳ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{C}}$	

مرحله (۲) تبدیل واحد: در اینجا مساحت از cm^2 به m^2 و ضخامت از cm به m و زمان از دقیقه به ثانیه تبدیل می‌شود.

$$\begin{cases} A = ۳۵۰۰\text{cm}^2 \\ 1\text{m}^2 = ۱۰۰۰۰\text{cm}^2 \\ A = ۳۵۰۰ \times \left(\frac{1}{10000} \text{m}^2 \right) \\ A = \frac{۳۵۰۰}{10000} \text{m}^2 \\ A = ۰/۳۵\text{m}^2 \end{cases} \quad \begin{cases} t = ۴۵\text{min} \\ 1\text{min} = ۶۰\text{s} \\ t = ۴۵ \times ۶۰\text{s} \\ t = ۲۷۰۰\text{s} \\ d = ۱۰۰\text{cm} \\ d = ۱۰۰ \left(\frac{1}{100} \text{m} \right) \\ d = \frac{100}{100} \text{m} \\ d = 1\text{m} \end{cases}$$

مرحله (۳): رابطه ریاضی مربوط به مساله نوشته می‌شود.

$$Q = K \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d}$$

	<p>مرحله ۴): مقادیر داده‌ها در رابطه جای گذاری می‌شود.</p> $30000 \cdot \frac{0.63}{1} \frac{2700}{35} (\theta_p - \theta_1)$ <p>مرحله ۵): محاسبه ریاضی رابطه</p> $30000 \cdot \frac{0.63 \times 0.35 \times 2700 \times (\theta_p - \theta_1)}{1}$ $30000 \cdot \frac{595}{35} (\theta_p - \theta_1)$ <p>در رابطه طرفین و وسطین انجام می‌دهیم.</p> $595/35 (\theta_p - \theta_1) \quad 30000 \times 1$ <p>طرفین رابطه را بر ضریب مجهول $(\theta_p - \theta_1)$ تقسیم می‌کنیم.</p> $\frac{595/35 (\theta_p - \theta_1)}{595/35} = \frac{30000}{595/35}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> $\theta_p - \theta_1 = 50/39^\circ C$ </div>
<p>تمرین ۱۰-۱: ورق دایره‌ای شکل به قطر ۶۰cm و ضخامت ۷۰mm در مجاورت منبع حرارتی در مدت زمان ۵۰۰ ثانیه، قرار می‌گیرد، اگر درجه حرارت طرف مجاور منبع حرارتی $130^\circ C$ و مقدار حرارت انتقال یافته 150 kJ باشد، درجه حرارت طرف دیگر ورق چند درجه خواهد بود. (ضریب هدایت حرارتی ورق $0.35 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ می‌باشد.)</p> <p>حل) توسط هنرجو:</p>	<p>مثال ۱۰-۱: شیشه‌ای دایره‌ای شکل به شعاع ۵۰۰mm و ضخامت ۵cm در مجاورت منبع حرارتی در مدت زمان ۵ دقیقه قرار می‌گیرد، اگر درجه حرارت طرف مجاور منبع حرارتی $150^\circ C$ و مقدار حرارت انتقال یافته 100000 J باشد، درجه حرارت طرف دیگر شیشه چند درجه سانتی‌گراد خواهد بود (ضریب هدایت حرارتی شیشه $0.84 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$ می‌باشد.)</p> <p>حل: مرحله ۱): داده‌ها و خواسته‌ها به صورت خلاصه همراه با واحدهای آن نوشته می‌شود.</p>

خواسته‌ها	داده‌ها
	R ۵۰۰mm
	d ۵cm
	t ۵min
θ_1 ?°c	θ_p ۱۵°c
	Q ۱۰۰۰۰۰۰j
	k ۰/۸۴ $\frac{W}{m \cdot c}$

محاسبه مساحت دایره:

$$A = \pi R^2$$

$$A = ۳/۱۴(۵۰۰)^2$$

$$A = ۷۸۵۰۰۰mm^2$$

مرحله ۲) تبدیل واحد: مساحت دایره از mm^2 به

m^2 و ضخامت از سانتی‌متر به متر و زمان از دقیقه به

ثانیه تبدیل می‌کنیم:

$$\left\{ \begin{array}{l} t = ۵ \text{ min} \\ t = ۵(۶۰s) \\ t = ۳۰۰s \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} d = ۵cm \\ d = ۵ \times \left(\frac{1}{100} m \right) \\ d = \frac{۵}{100} m \\ d = ۰/۰۵m \end{array} \right.$$

$$\left\{ \begin{array}{l} A = ۷۸۵۰۰۰mm^2 \\ A = ۷۸۵۰۰۰ \times \left(\frac{1}{1000000} m^2 \right) \\ A = \frac{۷۸۵۰۰۰}{1000000} m^2 \\ A = ۰/۷۸۵m^2 \end{array} \right.$$

مرحله ۳) رابطه ریاضی مربوط به مساله نوشته

می‌شود.

$$Q = K \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d}$$

مرحله ۴): مقادیر داده‌ها در رابطه جای‌گذاری

می‌شود.

$$1000000 \quad 0/84 \frac{0/785(150 - \theta_1)300}{0/05}$$

$$1000000 \quad \frac{0/84 \times 0/785 \times 300(150 - \theta_1)}{0/05}$$

	$100000 \frac{197/82(150 \theta_1)}{0/05}$ <p>رابطه فوق را طرفین و وسطین می‌کنیم</p> $197/82(150 \theta_1) \times 100000 \times 0/05$ $197/82(150 \theta_1) \quad 5000$ <p>طرفین رابطه بر ضریب مجهول تقسیم می‌کنیم</p> $\frac{197/82(150 \theta_1)}{197/82} \quad \frac{5000}{197/82}$ $150 \theta_1 \quad 25/28$ <p>در اینجا θ_1 مجهول می‌باشد، اگر مجهولی یا عددی از یک طرف تساوی به طرف دیگر تساوی انتقال داده شود، علامت آن عدد یا آن مجهول تغییر می‌کند. اگر θ_1 به طرف دیگر تساوی منتقل شود علامت آن مثبت می‌شود و عدد $25/28$ به طرف دیگر تساوی برود، علامت آن تغییر خواهد کرد.</p> $150 \quad 25/28 \quad \theta_1$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;"> $\theta_1 \quad 124/72^\circ\text{C}$ </div>
<p>تمرین ۱۱-۱: یک دیواره مسطح به ابعاد $0/7 \times 0/9$ متر با ضخامت $0/08 \text{ m}$ از آجر نسوز دارای ضریب هدایت حرارتی $\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{c} \cdot \text{hr}} 0/303$ مفروض است، چنانچه دمای سطح سرد این دیواره 120°C و مقدار گرمای انتقال یافته از دیواره در مدت 250 ثانیه برابر 40 kcal باشد مطلوبست دمای سطح گرم این دیواره بر حسب درجه سانتی‌گراد.</p> <p>حل (توسط هنجرو):</p>	<p>مثال ۱۱-۱: یک دیواره مسطح به ابعاد 80×100 سانتی‌متر با ضخامت 10 cm از آجر نسوز دارای ضریب هدایت حرارتی $\frac{\text{kcal}}{\text{m} \cdot \text{hr} \cdot \text{c}} 0/505$ مفروض است، چنانچه دمای سطح سرد این دیواره 100°C و مقدار گرمای انتقال یافته از دیواره در مدت 5 دقیقه برابر 42000 cal باشد، مطلوب است: دمای سطح گرم این دیواره بر حسب درجه سانتی‌گراد.</p>

حل: مرحله (۱): داده‌ها و خواسته‌ها به طور خلاصه همراه با واحدهای آن نوشته می‌شود.

خواسته‌ها	داده‌ها
$\theta_p \text{ ? } ^\circ\text{C}$	$\left\{ \begin{array}{l} A \quad 100\text{cm} \times 80\text{cm} \quad 8000\text{cm}^2 \\ d \quad 10\text{cm} \\ k \quad 0.505 \frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^\circ\text{C}} \\ \theta_1 \quad 100^\circ\text{C} \\ t \quad 5 \text{min} \\ Q \quad 4200\text{cal} \end{array} \right.$

مرحله (۲) تبدیل واحد: در اینجا زمان از دقیقه به ثانیه و ضریب انتقال حرارت از $\frac{\text{kcal}}{\text{m.hr.}^\circ\text{C}}$ به $\frac{\text{cal}}{\text{m.}^\circ\text{C.s}}$ تبدیل می‌کنیم.

$$\left\{ \begin{array}{l} t \quad 5 \text{min} \\ t \quad 5(60\text{s}) \\ t \quad 300\text{s} \end{array} \right.$$

$$k \quad 0.505 \frac{\text{kcal}}{\text{m.}^\circ\text{C.hr}}$$

$$k \quad 0.505 \times \frac{1000\text{cal}}{100\text{cm}^\circ\text{C} \cdot 3600\text{s}}$$

$$k \quad 0.505 \times \frac{1000}{100 \times 3600} \frac{\text{cal}}{\text{cm.}^\circ\text{C.s}}$$

$$k \quad 0.505 \times \frac{1}{360} \frac{\text{cal}}{\text{cm.}^\circ\text{C.s}}$$

$$k \quad 0.0014 \frac{\text{cal}}{\text{cm.}^\circ\text{C.s}}$$

مرحله (۳) رابطه ریاضی مربوط به مساله نوشته می‌شود.

$$Q = K \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d}$$

اختلاف درجه داریم $\theta_p - \theta_1 = \Delta\theta$

$$Q = K \frac{A \Delta \theta t}{d}$$

مرحله ۴) مقادیر داده‌ها را در رابطه

جای‌گذاری می‌کنیم

$$42000 = 0.0014 \frac{800 \phi \times \Delta \theta \times 300}{1 \phi}$$

مرحله ۵) محاسبات مربوطه را انجام می‌دهیم

$$42000 = 0.0014 \times 800 \times \Delta \theta \times 300$$

$$42000 = 336 \Delta \theta$$

طرفین رابطه بر ضریب $\Delta \theta$ تقسیم می‌کنیم

$$\frac{42000}{336} = \frac{336 \Delta \theta}{336}$$

$$\Delta \theta = 125^\circ \text{C}$$

مرحله ۶) به‌دست آوردن مقدار θ_p با استفاده از

رابطه $\Delta \theta$:

$$\Delta \theta = \theta_p - \theta_1$$

$$125 = \theta_p - 100$$

$$125 + 100 = \theta_p$$

$$\theta_p = 225^\circ \text{C}$$

* با توجه به این که در فاصله‌های مختلف در ضخامت دیواره، درجه حرارت متفاوت است، ضریب هدایت حرارتی نیز تغییر می‌کند بنابراین باید در مسایل مقدار ضریب هدایت حرارتی متوسط استفاده شود. ضریب هدایت حرارتی متوسط را با \bar{k} نشان داده و مقدار آن عموماً با استفاده از رابطه زیر به‌دست می‌آید.

$$\bar{k} = \frac{k_1 + k_2}{2}$$

جدول ضریب هدایت حرارتی k برای فلزات و اجسام مختلف در 25°C در کتاب محاسبات فنی تخصصی وجود

دارد.

تمرین ۱۲-۱: یک دیواره یک لایه مسطح در دماهای ۸۰۰ و ۳۵۰ درجه سانتی‌گراد دارای ضریب هدایت حرارتی به ترتیب ۰/۰۴ و ۰/۰۶ کالری بر سانتی‌متر درجه سانتی‌گراد است. ضریب هدایت حرارتی متوسط آن را در فاصله دمایی مذکور محاسبه کنید. حل (توسط هنرجو):

مثال ۱۲-۱: یک دیواره یک لایه مسطح در دماهای ۹۰۰ و ۴۵۰ درجه سانتی‌گراد دارای ضریب هدایت حرارتی به ترتیب ۰/۵ و ۰/۷ وات بر متر بر درجه سانتی‌گراد است، ضریب هدایت حرارتی متوسط آن را در فاصله دمایی مذکور محاسبه کنید.

حل: در این گونه مسائل با توجه به این که در هر دو درجه حرارت مقدار (k) داده شده است لذا مقدار (k) متوسط را به سادگی می‌توان از طریق به دست آوردن میانگین به روش زیر محاسبه نمود.

مرحله (۱) خلاصه نویسی از داده‌ها و خواسته‌ها

خواسته‌ها	داده‌ها
$\bar{k} \quad ? \quad \frac{w}{m.^{\circ}c}$	$\begin{cases} k_1 & 0/5 \frac{w}{m.^{\circ}c} \\ k_2 & 0/6 \frac{w}{m.^{\circ}c} \end{cases}$

مرحله (۲) نوشتن رابطه مربوطه و محاسبه ریاضی

$$\bar{k} = \frac{k_1 + k_2}{2}$$

$$\bar{k} = \frac{0/5 + 0/7}{2}$$

$$\bar{k} = \frac{1/2}{2}$$

$$\bar{k} = 0/6 \frac{w}{m.^{\circ}c}$$

تمرین ۱۳-۱: یک دیواره از آجر نسوز به ابعاد ۶۰×۴۰ سانتی‌متر در مجاورت یک منبع حرارتی قرار دارد چنانچه درجه حرارت سطح داخلی این دیواره ۱۲۰۰°C و ضریب هدایت حرارتی آجر نسوز $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ $۰/۰۰۱۴$ باشد، اولاً ضخامت دیواره به چه اندازه باید انتخاب شود تا درجه حرارت پشت دیواره از ۵۰°C تجاوز نکند و حرارت انتقال یافته در هر دقیقه ۲۰ کیلوکالری باشد. ثانیاً ضریب هدایت حرارتی k را بر حسب واحدهای مختلف محاسبه و تعیین کنید.

حل (توسط هنرجو):

تمرین ۱۴-۱: ضریب هدایت حرارتی یک دیواره از آجر شاموتی، نسبت به درجه حرارت تغییر می‌کند و از معادله

$$\left(\frac{w}{m \cdot c}\right) k = 0.419 + 0.000625\theta$$

تعیین می‌شود.

اولاً: مقدار این ضریب را در درجه حرارت‌های $25^{\circ}C$ و $125^{\circ}C$ به دست آورید.

ثانیاً: مقدار متوسط آن را در فاصله دمایی $25^{\circ}C$ تا $135^{\circ}C$ محاسبه و تعیین کنید.

حل (توسط هنرجو):

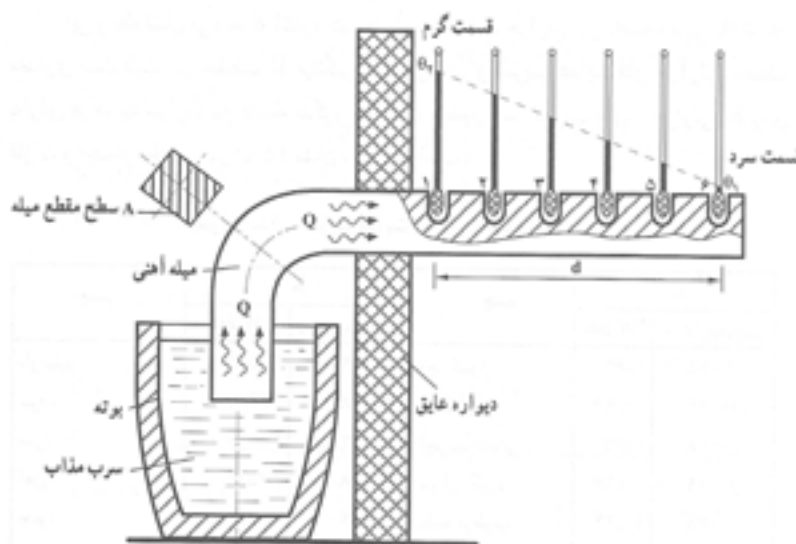
تمرین ۱۵-۱: به منظور تعیین ضریب هدایت حرارتی یک نوع آلیاژ آلومینیوم میله‌ای از آن را به طول 12cm و به سطح مقطع 12cm^2 تهیه کرده‌ایم. یک سر آن را در محفظه‌ای از آب 90°C و سر دیگر آن را در داخل یک توده یخ صفر درجه سانتی‌گراد قرار داده‌ایم (میله توسط روپوش نسبت به محیط عایق شده است) در نتیجه، پس از گذشت زمان ۷ دقیقه ۸۵، گرم یخ ذوب شده است، اگر گرمای نهان ذوب یخ $70 \frac{\text{cal}}{\text{g}}$ باشد، ضریب هدایت حرارتی متوسط آلیاژ را در این فاصله دمایی به دست آورید.
حل (توسط هنرجو):

تمرین ۱۶-۱: یک میله فلزی به طول 20 cm با سطح مقطع دایره به شعاع 2 cm از یک طرف به مدت 30 دقیقه در مجاورت یک منبع حرارت قرار می‌گیرد. اگر توان منبع حرارتی 2 kW باشد، و در صورتی که بعد از تعادل، دمای درجه حرارت دو طرف میله به ترتیب 500°C و 100°C باشد، میزان ضریب انبساط حرارتی متوسط میله چقدر خواهد بود.

حل (توسط هنرجو):

رسم دیاگرام توزیع درجه حرارت در ضخامت دیواره:

اگر یک میله از جنس مشخصی از یک طرف حرارت داده شود پس از رسیدن به ثبات دمایی، دما در هر نقطه بین قسمت سرد و گرم میله به یک مقدار ثابت و معین می‌رسد. این موضوع را می‌توان با یک آزمایش ساده مشخص کرد. در این آزمایش یک سر میله آهنی در بوته سرب مذاب می‌باشد که توسط یک دیواره عایق از سر دیگر آن جدا شده و در ۶ نقطه مختلف تا سر میله درجه حرارت با دماسنج اندازه گیری شده است، نتیجه نشان می‌دهد که هرچه از منبع حرارت دور می‌شویم درجه حرارت پایین می‌آید. حال اگر این درجه حرارت‌ها را برحسب فاصله از منبع گرما (حرارت) رسم کنیم به صورت یک خط راست می‌شود. مطابق شکل ۱-۱.



شکل ۱-۱- آزمایش توزیع درجه حرارت در طول یک میله آهنی

از طرفی با توجه به رابطه انتقال حرارت به روش هدایت داریم:

$$Q = \bar{K} \frac{A(\theta_2 - \theta_1)t}{d}$$

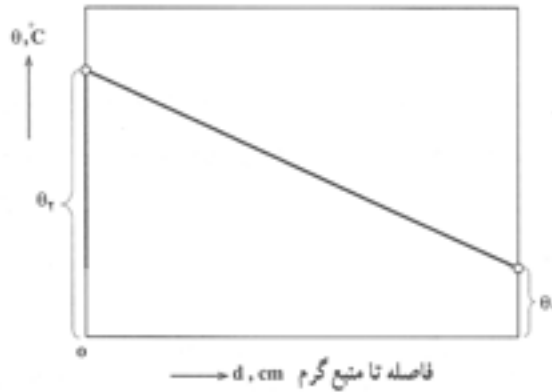
اگر طرفین رابطه فوق را بر t تقسیم کنیم خواهیم داشت:

$$\frac{Q}{t} = \bar{K} A \frac{(\theta_2 - \theta_1)}{d}$$

$\frac{Q}{t}$ مقدار حرارت انتقال یافته در واحد زمان می‌باشد که پس از ثبات دمایی مقداری ثابت خواهد بود. از طرفی \bar{K} ضریب هدایت حرارتی متوسط دیواره در فاصله دمایی θ_1 و θ_2 پس از ثبات دمایی مقداری ثابت است. همچنین A سطح انتقال حرارت نیز ثابت می‌باشد. بنابراین تغییرات درجه حرارت نسبت به فاصله تا منبع حرارتی (d) معادله‌ای از نوع درجه اول خواهد بود:

$$\frac{(\theta_2 - \theta_1)}{d} \text{ مقدار ثابت}$$

بنابراین دیاگرام تغییرات درجه حرارت نسبت به فاصله از منبع حرارتی به صورت یک خط راست خواهد بود، مطابق شکل ۱-۲.



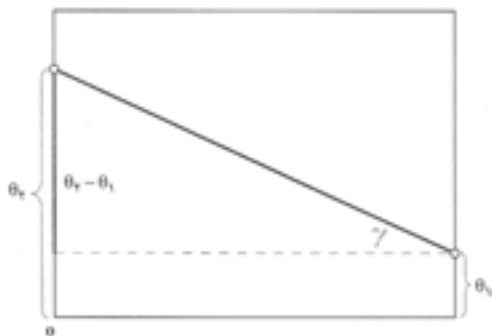
شکل ۱-۲- دیاگرام توزیع درجه حرارت در ضخامت دیواره

این خط در واقع توزیع درجه حرارت در ضخامت دیواره را نشان می‌دهد که در اصطلاح به آن شیب حرارتی می‌گویند. با استفاده از این دیاگرام می‌توان در ضخامت دیواره در هر فاصله از منبع گرم درجه حرارت را به دست آورد.

با توجه به این دیاگرام می‌توان گفت که هرچه شیب این خط بیشتر باشد یعنی اختلاف درجه حرارت بین دو طرف دیواره نسبت به فاصله از منبع گرم بیشتر باشد، براساس رابطه انتقال حرارت که حرارت انتقال یافته نسبت مستقیم با اختلاف درجه حرارت دارد. بنابراین هدایت حرارتی از دیواره بیشتر خواهد بود. همین طور برعکس، هر چه شیب خط ملایم‌تر باشد انتقال حرارت به روش هدایت کمتر است. حال به طور کلی شیب حرارتی را می‌توان

به صورت زیر نوشت:

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{d} = \frac{\Delta\theta}{d}$$



شکل ۱-۳

با توجه به شکل اگر مثلث قائم الزاویه‌هاشور

خورده را در نظر بگیریم خواهیم داشت:

$$\text{tg} \gamma = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{ضلع مجاور}}$$

$$\text{tg} \gamma = \frac{\theta_2 - \theta_1}{d}$$

$$\text{tg} \gamma = \frac{\Delta\theta}{d}$$

بنابراین می‌توان گفت که شیب این خط (tgγ) برابر است با شیب حرارتی بین دو طرف دیواره.

تمرین ۱۷-۱: یک دیواره عایق به ضخامت 0.4m در مجاورت یک منبع حرارتی قرار دارد، در صورتی که دمای دو طرف آن به ترتیب 45°C و 75°C باشد، میزان شیب حرارتی را در دیواره بر حسب درجه سانتی‌گراد بر سانتی‌متر حساب کنید.
حل (توسط هنرجو):

مثال ۱۳-۱: یک دیواره عایق به ضخامت 30cm در مجاورت یک منبع حرارتی قرار دارد، در صورتی که دمای دو طرف آن به ترتیب 50°C و 5°C باشد، میزان شیب حرارتی را در دیواره بر حسب درجه سانتی‌گراد بر سانتی‌متر حساب کنید.
حل: مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها را به صورت خلاصه با واحدهای آن می‌نویسیم.

داده‌ها	خواسته‌ها
$\theta_1 \quad 5^\circ\text{C}$	=? شیب حرارتی
$\theta_2 \quad 50^\circ\text{C}$	
$d \quad 30^\circ\text{C}$	

مرحله (۲) رابطه مربوط به مساله را نوشته می‌شود.

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{d}$$

مرحله (۳) جای‌گذاری داده‌ها و محاسبه ریاضی

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{50 - 5}{30}$$

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{45}{30}$$

شیب حرارتی	$15 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}}$
------------	---------------------------------------

تمرین ۱۸-۱: درجه حرارت سطح داخلی و خارجی دیواره یک کوره به ترتیب 1100°C و 25°C می باشد، اگر ضخامت دیواره 30cm باشد، درجه عمقی از سطح سرد دیواره درجه حرارت 550°C است.
حل (توسط هنرجو):

مثال ۱۴-۱: درجه حرارت سطح داخلی و خارجی دیواره یک کوره به ترتیب 1200°C و 20°C می باشد، اگر ضخامت دیواره 20cm باشد در چه عمقی از سطح گرم دیواره درجه حرارت 500°C است.
حل: مرحله (۱) داده و خواسته ها به طور خلاصه همراه با واحد نوشته می شود.

خواسته ها	داده ها
	$\theta_1 \quad 20^{\circ}\text{C}$
	$\theta_2 \quad 1200^{\circ}\text{C}$
	$d \quad 20^{\circ}\text{C}$
	$\theta' \quad 500^{\circ}\text{C}$
	$d' \quad ?$

مرحله (۲) نوشتن رابطه مربوط به مساله:

$$\text{شیب حرارتی} \quad \frac{\theta_2 - \theta_1}{d}$$

مرحله (۳) مقادیر داده ها در رابطه فوق جای گذاری

$$\text{شیب حرارتی} \quad \frac{1200 - 20}{20}$$

می شود.

$$\text{شیب حرارتی} \quad \frac{1180}{20}$$

$$\text{شیب حرارتی} \quad \frac{59^{\circ}\text{C}}{\text{cm}}$$

مرحله (۴) با توجه به این که شیب حرارتی در هر

نقطه ثابت است، رابطه شیب حرارتی در عمق d' را

می نویسیم

$$\text{شیب حرارتی} \quad \frac{\theta_2 - \theta'}{d'}$$

$$\text{شیب حرارتی} \quad \frac{1200 - 500}{d'}$$

$$\frac{59}{1} = \frac{700}{d'}$$

رابطه فوق را طرفین و وسطین می‌کنیم

$$59 \times d' = 700 \times 1$$

طرفین رابطه را بر ضریب d' تقسیم می‌کنیم.

$$\frac{59d'}{59} = \frac{700}{59}$$

$$d' = 11.86 \text{ cm}$$

تمرین ۱۹-۱: جداره عایق یک کوره از آجر نسوز و دیرگداز تشکیل شده است، در صورتی که دمای سطوح داخلی و خارجی آن به ترتیب 1140°C و 35°C و ضخامت این جداره 0.18m باشد، درجه حرارت در عمق 8 cm از سطح سرد دیواره چقدر خواهد بود. حل (توسط هنرجو):

مثال ۱۵-۱: جداره عایق یک کوره از آجر نسوز و دیرگداز تشکیل شده است، در صورتی که دمای سطوح داخلی و خارجی آن به ترتیب 1240°C و 40°C و ضخامت این جداره 24 cm باشد، درجه حرارت در عمق 20 cm از سطح گرم دیواره چقدر خواهد بود. حل: مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها همراه با واحد به طور خلاصه نوشته می‌شود.

خواسته‌ها	داده‌ها
	$\theta_1 = 40^\circ\text{C}$
	$\theta_2 = 1240^\circ\text{C}$
	$d = 24\text{ cm}$
	$d' = 20\text{ cm}$
$\theta' = ?^\circ\text{C}$	

مرحله (۲) رابطه مربوطه به مساله نوشته می‌شود

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{d}$$

- ابتدا شیب حرارتی را محاسبه می‌کنیم.

مرحله (۳) مقادیر داده‌ها را در رابطه فوق جای گذاری

می‌کنیم.

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{1240 - 40}{24}$$

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{1200}{24}$$

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{50^\circ\text{C}}{\text{cm}}$$

مرحله ۴) با توجه به این که شیب حرارتی در تمام نقاط دیواره ثابت است، رابطه شیب حرارتی در عمق d' را می نویسیم.

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{\theta_2 - \theta'}{d'}$$

جای گذاری مقادیر معلوم.

$$\frac{50 - \theta'}{1} = \frac{1240 - \theta'}{20}$$

رابطه فوق را طرفین و وسطین می کنیم

$$50 \times 20 - 20\theta' = 1240 - \theta'$$

$$1000 - 20\theta' = 1240 - \theta'$$

معلوم یک طرف تساوی و مجهول در طرف دیگر تساوی.

$$\theta' - 20\theta' = 1240 - 1000$$

$$\boxed{\theta' = 240^\circ\text{C}}$$

نکته: اگر معلوم، یا مجهولی را به طرف دیگر تساوی

ببریم علامت آنها تغییر خواهد کرد.

تمرین ۲۰-۱: دیواره‌ای به طول ۴۰ سانتی‌متر و به ارتفاع ۷۵ سانتی‌متر در مجاورت یک منبع حرارتی با دمای 45°C قرار دارد ضریب هدایت حرارتی دیواره به طور متوسط $\frac{\text{cal}}{\text{cm}\cdot^{\circ}\text{C}\cdot\text{s}}$ 0.25 و دمای سطح خارجی آن 30°C و ضخامت آن ۲۸ cm می‌باشد مطلوب است:

الف - حرارت انتقال یافته در مدت زمان ۱۰ دقیقه بر حسب کیلوکالری

ب - تبدیل ضریب هدایت حرارتی به واحدهای دیگر آن.

ج - شیب حرارتی بر حسب $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}}$

د - رسم دیاگرام توزیع درجه حرارت.

حل (توسط هنرجو):

	<p>تمرین ۲۱-۱: دیواره‌ای مسطح از جنس عایق حرارتی با ضخامت 30 cm مفروض است. در صورتی که شیب حرارتی این دیواره $50 \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}}$ باشد مقدار حرارتی که در هر ثانیه از هر متر مربع آن انتقال می‌یابد را بر حسب کالری به دست آورید. ضریب هدایت حرارتی متوسط دیوار برابر $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}}$ $1/6 \times 10^3$ است.</p> <p>حل (توسط هنرجو):</p>
	<p>تمرین ۲۲-۱: درجه حرارت سطح داخلی و خارجی دیواره یک کوره به ترتیب 975°C و 25°C است، چنانچه ضخامت این دیواره 36 cm باشد:</p> <p>اولاً: شیب حرارتی آن بر حسب درجه سانتی‌گراد بر سانتی‌متر و درجه کلوین بر سانتی‌متر تعیین کنید.</p> <p>ثانیاً: درجه حرارت در عمق $0/18$ متری از سطح گرم این دیواره را به دست آورید.</p> <p>حل (توسط هنرجو):</p>

تمرین ۲۳-۱: درجه حرارت داخلی و خارجی دیواره
مسطح یک کوره به ترتیب 1500°C و 100°C است
در صورتی که ضخامت دیواره 25 cm باشد مطلوب
است:

الف - محاسبه شیب حرارتی بر حسب $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}}$ و $\frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}}$

ب - درجه حرارت در فاصله 10 cm از سطح گرم.

ج - درجه حرارت در فاصله 15 cm از سطح سرد.

حل (توسط هنرجو):

* شدت جریان حرارتی:

گرمای انتقال یافته در واحد زمان را شدت جریان حرارتی می‌گویند و آن را با q نشان می‌دهند، رابطه شدت جریان حرارتی به صورت زیر می‌باشد،

$$q = \frac{Q}{t}$$

که در آن Q مقدار حرارت انتقال یافته، t مدت زمان انتقال حرارت و q شدت جریان حرارتی می‌باشد. باتوجه به رابطه انتقال حرارت به روش هدایت مقدار Q برابر است با:

$$Q = \bar{K} \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d}$$

حال اگر مقدار Q را در رابطه شدت جریان حرارتی قرار دهیم، خواهیم داشت:

$$q = \frac{\bar{K} \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d}}{t}$$

اگر دور در دور و نزدیک در نزدیک را انجام دهیم خواهیم داشت:

$$q = \frac{\bar{K}A(\theta_p - \theta_1)}{d}$$

$$q = \frac{\bar{K}A(\theta_p - \theta_1)}{d}$$

* واحد شدت جریان حرارتی: با توجه به رابطه شدت جریان حرارتی داریم:

$$q = \frac{Q}{t}$$

اگر واحد Q برابر کالری و واحد t برحسب ثانیه باشد داریم:

$$\text{واحد } q = \frac{\text{cal}}{\text{s}}$$

* واحد شدت جریان حرارتی در سیستم SI: در سیستم SI واحد Q ژول و زمان t ثانیه می‌باشد لذا خواهیم داشت:

$$\text{واحد } q = \frac{\text{J}}{\text{s}}$$

برای تبدیل واحد $\frac{\text{cal}}{\text{s}}$ به وات (w) می‌توان به صورت عمل کرد.

$$1 \text{ cal} = 4/1868 \text{ J}$$

$$1 \times \frac{\text{cal}}{\text{s}} = 1 \times \frac{4/1868 \text{ J}}{\text{s}}$$

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{s}} = 4/1868 \left(\frac{\text{J}}{\text{s}}\right)$$

$$\boxed{1 \frac{\text{cal}}{\text{s}} = 4/1868 \text{ W}}$$

* واحد دیگر شدت جریان حرارتی $\frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$ می باشد که برای تبدیل آن در سیستم SI خواهیم داشت:

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = 1 \times \frac{1000 \text{ cal}}{3600 \text{ s}}$$

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = \frac{10}{36} \left(\frac{\text{cal}}{\text{s}}\right)$$

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = \frac{10}{36} \left(4/1868 \frac{\text{J}}{\text{s}}\right)$$

$$\boxed{1 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = 1/163 \text{ W}}$$

تمرین ۲۴-۱ : دیواره مسطح یک لایه به ضخامت 0.3m و مساحت 350m^2 در مجاورت یک منبع حرارتی قرار دارد اگر درجه حرارت سطح داخلی این دیواره 130°C و درجه حرارت پشت دیواره 15°C باشد و ضریب هدایت حرارتی متوسط دیواره $0.001 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ ، مطلوبست محاسبه و تعیین شدت جریان حرارتی دیواره برحسب W و $\frac{\text{cal}}{\text{s}}$.
 حل (توسط هنرجو):

مثال ۱۵-۱ : دیواره مسطح یک لایه به ضخامت 30cm و مساحت 3500cm^2 در مجاورت یک منبع حرارتی قرار دارد اگر درجه حرارت سطح داخلی این دیواره 120°C و درجه حرارت پشت دیواره 200°C باشد و ضریب هدایت حرارتی متوسط دیواره $0.001 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ ، مطلوبست محاسبه و تعیین شدت جریان حرارتی دیواره برحسب W و $\frac{\text{cal}}{\text{s}}$.
 حل:مرحله (۱) : داده‌ها و خواسته‌ها به‌طور خلاصه نوشته می‌شود

داده‌ها	خواسته‌ها
$d \quad 30\text{cm}$	q و $W \quad ? \quad \frac{\text{cal}}{\text{s}}$
$A \quad 3500\text{cm}^2$	
$\theta_p \quad 120^\circ\text{C}$	
$\theta_1 \quad 200^\circ\text{C}$	
$\bar{k} \quad 0.001 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$	

مرحله (۲) : نوشتن رابطه مربوط به مسأله.

$$q = \frac{\bar{k}A(\theta_p - \theta_1)}{d}$$

مرحله (۳) : جای‌گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه.

$$q = \frac{0.001 \times 3500(1200 - 200)}{30}$$

$$q = \frac{3500}{30}$$

$$q = 116 \frac{\text{cal}}{\text{s}}$$

$$1 \frac{\text{cal}}{\text{s}} = 4/1868W$$

$$q = 116/7 \times 4/1868$$

$$q = 488/6W$$

تمرین ۱-۲۵ : شیب حرارتی دیواره‌ای $۷۰ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{cm}}$ و شدت جریان حرارتی آن ۴۰۰ W می‌باشد، در صورتی مساحت دیواره ۲۰۰۰ cm^2 باشد، ضریب هدایت حرارتی دیواره را به دست آورید. حل (توسط هنرجو):

مثال ۱-۱۶ : شیب حرارتی دیواره‌ای $۶۰۰۰ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}}$ و شدت جریان حرارتی آن ۳۰۰ W می‌باشد، ضریب هدایت حرارتی دیواره را به دست آورید در صورتی که مساحت دیواره $۰ / ۳ \text{ m}^2$ باشد.
حل: مرحله (۱) : داده‌ها و خواسته‌ها را به‌طور خلاصه همراه با واحد می‌نویسیم.

داده‌ها	خواسته‌ها
$\frac{\Delta\theta}{d} \quad ۶۰۰۰ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}}$	$\bar{k} \quad ? \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}$
$q \quad ۳۰۰ \text{ W}$	
$A \quad ۰ / ۳ \text{ m}^2$	

مرحله (۲) : نوشتن رابطه مربوطه.

$$q = \frac{\bar{k}A(\theta_1 - \theta_2)}{d}$$

$$q = \bar{k}A \times \frac{\Delta\theta}{d}$$

مرحله (۳) : جای‌گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه.

$$۳۰۰ = \bar{k} \times ۰ / ۳ \times ۶۰۰۰$$

$$۳۰۰ = \bar{k} \times ۱۸۰۰$$

طرفین رابطه تقسیم بر ضریب مجهول (\bar{k})

$$\frac{۳۰۰}{۱۸۰۰} = \frac{\bar{k} \times ۱۸۰۰}{۱۸۰۰}$$

$$\bar{k} = ۰ / ۱۷ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

شدت جریان حرارتی مخصوص:

اگر مقدار گرمای انتقال یافته در واحد زمان از واحد سطح جسم عبور کند به آن شدت جریان حرارتی مخصوص می‌گویند و آنرا با (q_e) نشان می‌دهند.

رابطه شدت جریان حرارتی مخصوص به صورت $\frac{Q}{At}$ می‌باشد که در آن Q مقدار حرارت انتقال یافته، A سطح جسم و t زمان انتقال حرارت می‌باشد. لذا به‌طور خلاصه خواهیم داشت:

$$q_e = \frac{Q}{At}$$

$$Q = \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d}$$

با جای‌گذاری مقدار Q در رابطه شدت جریان حرارتی مخصوص خواهیم داشت:

$$q_e = \frac{\frac{\bar{k} A(\theta_p - \theta_1)t}{d}}{\frac{At}{1}}$$

با دور در دور و نزدیک در نزدیک خواهیم داشت:

$$q_e = \frac{\bar{k} A(\theta_p - \theta_1)t}{Adt}$$

$$q_e = \frac{\bar{k}(\theta_p - \theta_1)}{d}$$

با توجه به رابطه شیب حرارتی داریم:

$$\frac{\theta_p - \theta_1}{d} = \frac{\Delta\theta}{d}$$

بنابراین رابطه شدت جریان حرارتی مخصوص به شکل زیر خواهد بود:

$$q_e = \bar{k} \left(\frac{\Delta\theta}{d} \right)$$

*واحد شدت جریان حرارتی مخصوص:

با توجه به رابطه شدت جریان حرارتی مخصوص واحد پارامترهای آن به شکل زیر خواهد بود:

Q : مقدار حرارت انتقال یافته بر حسب kcal

A : سطح جسم بر حسب m^2

t: زمان انتقال حرارت برحسب hr

با جای گذاری واحدها در رابطه شدت جریان حرارتی مخصوص خواهیم داشت:

$$q_e = \frac{Q}{At}$$

$$\text{واحد } q_e = \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}$$

واحد شدت جریان حرارتی مخصوص در سیستم SI:

Q: مقدار حرارت انتقال یافته برحسب (j)

A: سطح جسم برحسب (m²)

t: زمان انتقال برحسب (s)

$$q_e = \frac{Q}{At}$$

صورت و مخرج را بر s تقسیم می کنیم

$$\text{واحد } q_e = \frac{\frac{j}{\text{m}^2}}{\frac{s}{\text{m}^2}} = \frac{j}{\text{m}^2 \cdot s}$$

با توجه به این که w است $\frac{j}{s}$ خواهیم داشت:

$$\text{واحد در سیستم SI } q_e = \frac{w}{\text{m}^2}$$

* تبدیل واحدهای شدت جریان حرارتی مخصوص $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}$ را برحسب واحد در سیستم SI:

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}} = \frac{1000 \text{ cal}}{\text{m}^2 \cdot 3600 \text{ s}} \quad 1 \text{ cal} = 4/1868 \text{ J}$$

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}} = \frac{1000 \times 4/1868 \text{ J}}{3600 \text{ m}^2 \cdot \text{s}}$$

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}} = 1/163 \frac{j}{\text{m}^2 \cdot \text{s}}$$

با توجه به این که w $\frac{j}{s}$

$$1 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}} = 1/163 \frac{w}{\text{m}^2}$$

تمرین ۲۶-۱: ضریب هدایت حرارتی یک دیواره عایق در درجه حرارت‌های 200°C و 950°C برابر $0.12 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$ می‌باشد، اگر ضخامت این دیواره 10 cm باشد مطلوبست:

الف) محاسبه مقدار شدت جریان حرارتی بر حسب وات (W)

ب) تعیین شدت جریان حرارتی مخصوص بر حسب $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}$ حل (توسط هنرجو):

مثال ۱۷-۱: ضریب حرارتی متوسط دیواره یک کوره مسطح یک لایه از آجر نسوز در درجه حرارت‌های 100°C و 1100°C برابر $0.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$ می‌باشد. اگر ضخامت این دیواره 10 cm باشد مطلوب است:

الف - مقدار شدت جریان حرارتی بر حسب وات (W)

ب - شدت جریان حرارتی مخصوص بر حسب $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ (در صورتی که سطح انتقال حرارت برابر 10000 cm^2)
حل: مرحله (۱): داده‌ها و خواسته‌ها به‌طور خلاصه نوشته می‌شود.

داده‌ها	خواسته‌ها
$\theta_1 \quad 100^{\circ}\text{C}$	
$\theta_2 \quad 1100^{\circ}\text{C}$	$q \quad ? \quad w$
$\bar{k} \quad 0.5 \frac{\text{W}}{\text{m}^{\circ}\text{C}}$	$q_e \quad ? \quad \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$
$d \quad 10 \text{ cm}$	
$A \quad 10000 \text{ cm}^2$	

مرحله (۲) تبدیل واحد: در اینجا واحد ضخامت از cm به m و واحد سطح از cm^2 به m^2 تبدیل می‌شود

$$\left\{ \begin{array}{l} d \quad 10 \text{ cm} \\ d \quad 10 \div 100 \\ d \quad 0.1 \text{ m} \end{array} \right. \quad \left\{ \begin{array}{l} A \quad 10000 \text{ cm}^2 \\ A \quad 10000 \div 10000 \\ A \quad 1 \text{ m}^2 \end{array} \right.$$

مرحله (۳) نوشتن رابطه قسمت الف:

$$q = \frac{\bar{k}A(\theta_2 - \theta_1)}{d}$$

مرحله (۴): جای‌گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه فوق.

$$q = \frac{0.5 \times 1 \times (1100 - 100)}{0.1}$$

مرحله ۵): محاسبه ریاضی رابطه

$$q = \frac{0/5 \times 0/1 \times 1000}{0/01}$$

$$q = 5000 \text{ W}$$

مرحله ۶) نوشته رابطه قسمت ب:

$$q_e = \frac{\bar{k}(\theta_r - \theta_1)}{d}$$

مرحله ۷): جای گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه

$$q_e = \frac{0/5 \times (1100 - 100)}{0/01}$$

$$q_e = \frac{0/5 \times 1000}{0/01}$$

$$q_e = 50000 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

تمرین ۲۷-۱: جداره مسطح یک دیواره از آجر نسوز به مساحت $0/125 \text{ m}^2$ در سطوح داخلی و خارجی به ترتیب به اندازه 125°C و 55°C گرم شده است، اگر ضخامت دیواره $0/3 \text{ m}$ و ضریب هدایت حرارتی آن به طور متوسط $0/82 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ \text{C}}$ باشد مطلوبست:

الف) شدت جریان حرارتی بر حسب کیلوکالری بر ساعت
ب) شدت جریان حرارتی مخصوص بر حسب کیلوکالری بر متر مربع بر ساعت $(\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}})$
حل (توسط هنرجو):

مثال ۱۸-۱: جداره مسطح یک دیواره از آجر نسوز به طول 20 cm و ارتفاع 40 cm در سطوح داخلی و خارجی به ترتیب به اندازه 135°C و 5°C گرم شده است، اگر ضخامت دیواره 25 cm و ضریب هدایت حرارتی آن به طور متوسط $0/92 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ \text{C}}$ باشد مطلوب است محاسبه:

الف) شدت جریان حرارتی بر حسب کیلوکالری بر ساعت $(\frac{\text{kcal}}{\text{hr}})$
ب) شدت جریان حرارتی مخصوص بر حسب کیلوکالری بر متر مربع بر ساعت $(\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}})$
حل:

مرحله ۱) داده‌ها و خواسته‌ها بصورت خلاصه نوشته شود.

داده‌ها	خواسته‌ها
L ۲۰cm	$q \quad ? \quad \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$ $q_e \quad \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}$
h ۴۰cm	
$\theta_p \quad 135^\circ \text{C}$	
$\theta_1 \quad 5^\circ \text{C}$	
d ۲۵cm	
$\bar{k} \quad 0.92 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^\circ \text{C}}$	

مرحله ۲) تبدیل واحد: در اینجا واحد طول، ارتفاع و ضخامت را از cm به m تبدیل می‌کنیم.

$$\begin{cases} L = 20 \text{ cm} \\ L = 20 \div 100 \\ L = 0.2 \text{ m} \end{cases} \quad \begin{cases} h = 40 \text{ cm} \\ h = 40 \div 100 \\ h = 0.4 \text{ m} \end{cases} \quad \begin{cases} d = 25 \text{ cm} \\ d = 25 \div 100 \\ d = 0.25 \text{ m} \end{cases}$$

مرحله ۳) نوشتن رابطه مربوط به بند الف:

$$A \quad L \cdot h$$

$$A \quad 0.2 \times 0.4$$

$$A \quad 0.08 \text{ m}^2$$

$$q \quad \frac{\bar{k} A (\theta_p - \theta_1)}{d}$$

مرحله ۴): جای‌گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه فوق.

$$q \quad \frac{0.92 \times 0.08 (135 - 5)}{0.25}$$

مرحله ۵) محاسبات ریاضی

$$q \quad \frac{0.92 \times 0.08 \times 130}{0.25}$$

$$q \quad 382/72 \text{ W}$$

با توجه به این که $1/163 \text{ W} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$ می‌باشد لذا

خواهیم داشت:

$$q \quad 382/72 \div 1/163$$

$$q = 329.08 \frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$$

مرحله ۶) نوشتن رابطه مربوط به بند ب:

$$q_e = \frac{\bar{k}A(\theta_p - \theta_1)}{d}$$

مرحله ۷) : جای گذاری مقادیر داده‌ها

$$q_e = \frac{0.92(1350 - 50)}{0.25}$$

مرحله ۸) محاسبات ریاضی

$$q_e = \frac{0.92 \times 1300}{0.25}$$

$$q_e = 4784 \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$$

با توجه به این که $1/163 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} = 1 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}$ داریم

$$q_e = 4784 \div 1/163$$

$$q_e = 4113/5 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{hr}}$$

* هدایت حرارتی دیواره و رابطه آن:

هدایت حرارتی یک دیواره بستگی به ضریب هدایت حرارتی و ضخامت آن دارد. به عبارت دیگر هر چقدر ضریب هدایت حرارتی دیواره بیشتر باشد، هدایت حرارتی آن بیشتر است ($\sigma \propto k$) در نتیجه هدایت حرارتی رابطه مستقیم با ضریب هدایت حرارتی دارد. از طرف دیگر هرچقدر ضخامت دیواره کمتر باشد، هدایت حرارتی دیواره بیشتر خواهد بود. بنابراین هدایت حرارتی نسبت عکس با ضخامت دیواره دارد ($\sigma \propto \frac{1}{d}$) هدایت حرارتی را با σ نمایش می‌دهند.

بنابراین رابطه هدایت حرارتی را می‌توان به صورت مقابل نوشت:

$$\sigma = \frac{\bar{k}}{d}$$

که در آن σ هدایت حرارتی دیواره و \bar{k} ضریب هدایت حرارتی دیواره و d ضخامت دیواره می‌باشد.

* **واحد هدایت حرارتی دیواره:** واحد ضریب هدایت حرارتی $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c.s}}$ \bar{k} می‌باشد و واحد ضخامت دیواره

d cm، حال با جای گذاری این واحدها در رابطه هدایت حرارتی خواهیم داشت: $\frac{\bar{k}}{d}$ واحد σ واحد

رابطه فوق را دور در دور و نزدیک در نزدیک می‌کنیم $\sigma \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ واحد σ

$$\text{واحد } \sigma \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$$

* مقاومت حرارتی:

بنابه تعریف مقاومت حرارتی یک جسم یا دیواره، عکس هدایت حرارتی آن است، اگر مقاومت حرارتی را با R

$$R = \frac{1}{\sigma} \quad \text{نمایش دهیم خواهیم داشت:}$$

$$R = \frac{1}{\frac{k}{d}}$$

در رابطه فوق دور در دور و نزدیک در نزدیک انجام می‌دهیم، خواهیم داشت:

$$R = \frac{d}{k}$$

با توجه به رابطه مقاومت حرارتی می‌توان نتیجه گرفت که ضریب مقاومت حرارتی عکس ضریب هدایت حرارتی می‌باشد، به عبارت دیگر ضریب مقاومت حرارتی برابر با $\frac{1}{k}$ است، در نتیجه برای به دست آوردن ضریب مقاومت حرارتی اجسام کافی است که ضریب هدایت حرارتی آنها را معکوس نمائیم.

با توجه به این که رابطه مقاومت حرارتی عکس رابطه هدایت حرارتی می‌باشد، واحد مقاومت حرارتی نیز عکس واحد هدایت حرارتی می‌باشد یعنی

$$\text{واحد } R = \frac{\text{cm}^2 \cdot \text{C} \cdot \text{s}}{\text{cal}}$$

جدول ۱-۲- ضریب هدایت حرارتی اجسام در ۲۵ °C

K		جسم	K		جسم
cal / cm.°C.s	W/mk		cal / cm.°C.s	W/mk	
۰/۰۰۱۵	۰/۶۳	آجر نسوز	۰/۴۹	۲۰۵/۳	آلومینیوم
۰/۰۰۱۹	۰/۷۹۶	خاک رُس	۰/۰۸۳	۳۴/۸	سرب
۰/۰۰۱۸	۰/۷۵۴	آجر ساختمانی	۰/۹۲	۳۸۵/۵	مس
۰/۰۰۱۹	۰/۷۹۶	سرباره کوره	۰/۱۸	۷۵/۴	آهن
۰/۰۰۳۸	۱/۵۹۲	ماسه مرطوب	۰/۰۲	۸/۴	جیوه
۰/۰۰۰۲	۰/۸۴	مخلوط آهک و ماسه	۰/۹۷	۴۰۶/۴	نقره
۰/۰۰۰۵	۲/۱	بُتن	۰/۷۵	۳۱۴/۲	طلا
۰/۰۰۰۲	۰/۸۴	شیشه	۰/۲۶	۱۰۹	برنج
۰/۰۰۱۵۲	۰/۶۳۷	آب	۰/۱۵	۶۳	چدن
۰/۰۰۰۳۲	۰/۱۳۴	بنزین	۰/۱۲	۵۰/۳	فولاد
۰/۰۰۰۰۵۷	۰/۰۲۳۹	هوا	۰/۰۰۰۳۷	۰/۱۵۵	مقوای نسوز (آسبست)
۰/۰۰۰۰۰۷	۰/۰۲۹۳	گاز طبیعی	۰/۰۰۰۳۶	۰/۰۱۵۱	ورق پنبه نسوز

تمرین ۲۸-۱: ضریب هدایت حرارتی متوسط
جداره مسطح عایق به ضخامت ۱۰۰mm برابر

$$\frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad \bar{k} = 0.67 \text{ است، مطلوبست محاسبه:}$$

الف) هدایت حرارتی جداره برحسب $\frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C}$

ب) مقاومت حرارتی جداره برحسب $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{w}$

حل (توسط هنرجو):

مثال ۱۹-۱: ضریب هدایت حرارتی متوسط جداره
مسطح یک کوره از آجر شاموتی به ضخامت ۱۲cm

$$\frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C} \quad \bar{k} = 0.63 \text{ است، مطلوبست محاسبه:}$$

الف. هدایت حرارتی جداره برحسب $\frac{w}{m^2 \cdot ^\circ C}$

ب. مقاومت حرارتی جداره برحسب $\frac{m^2 \cdot ^\circ C}{w}$

حل: مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها به‌طور خلاصه
نوشته می‌شود.

داده‌ها	خواسته‌ها
d ۱۲	$\sigma \quad ? \quad \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ c}$
$\bar{k} \quad 0/63$	$R \quad ? \quad \frac{m^2 \cdot ^\circ c}{w}$

مرحله ۲) تبدیل واحد: واحد ضخامت از cm به m تبدیل می‌شود.

$$\begin{cases} d \quad 12 \div 100 \\ d \quad 0/12m \end{cases}$$

مرحله ۳) نوشتن رابطه برای قسمت الف:

$$\sigma \quad \frac{\bar{k}}{d}$$

مرحله ۴) جای‌گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه و محاسبات ریاضی

$$\sigma \quad \frac{0/63}{0/12}$$

$$\sigma \quad 5/25 \quad \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ c}$$

مرحله ۵) نوشتن رابطه برای قسمت ب:

$$R \quad \frac{d}{\bar{k}}$$

مرحله ۶) جای‌گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه

$$R \quad \frac{0/12}{0/63}$$

مرحله ۷) محاسبات ریاضی

$$R \quad 0/19 \quad \frac{m \cdot ^\circ c}{w}$$

مثال ۲۰-۱: شیب حرارتی جداره یک کوره از آجر شاموتی متخلخل برابر $۲۷۰۰ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}}$ و مقاومت حرارتی جداره $۵ \frac{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ است چنانچه شدت جریان حرارتی مخصوص جداره $۱۵۰۰ \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ باشد مطلوبست محاسبه:

الف - ضریب هدایت حرارتی متوسط جداره برحسب $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}$

ب - ضخامت جداره برحسب سانتی متر

حل:

مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها به‌طور خلاصه نوشته

می‌شود.

$$\text{شیب حرارتی } \frac{\Delta\theta}{d} \quad ۲۷۰۰ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}}$$

داده‌ها	خواسته‌ها
$R \quad ۵ \frac{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$	$\bar{k} \quad ? \quad \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}$
$q_e \quad ۱۵۰۰ \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$	$d \quad ? \quad \text{cm}$

مرحله (۲) نوشتن رابطه قسمت الف:

$$q_e \quad \frac{\bar{k}\Delta\theta}{d} \quad q_e \quad \bar{k} \frac{\Delta\theta}{d}$$

مرحله (۳) جای‌گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه فوق

$$۱۵۰۰ \quad \bar{k} \times ۲۷۰۰$$

طرفین را بر ضریب \bar{k} تقسیم می‌کنیم

$$\frac{۱۵۰۰}{۲۷۰۰} \quad \frac{\bar{k} \times ۲۷۰۰}{۲۷۰۰}$$

$$\bar{k} \quad ۵ \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}$$

تمرین ۲۹-۱: شیب حرارتی یک دیواره از آجر منیزیتی متخلخل برابر $۲۵۰۰ \frac{^{\circ}\text{C}}{\text{m}}$ و مقاومت حرارتی جداره $۵ \frac{\text{m}^2 \cdot ^{\circ}\text{C}}{\text{W}}$ است چنانچه شدت جریان حرارتی مخصوص جداره $۱۳۰۰ \frac{\text{W}}{\text{m}^2}$ باشد مطلوبست محاسبه:

الف) ضریب هدایت حرارتی متوسط جداره برحسب $\frac{\text{W}}{\text{m} \cdot ^{\circ}\text{C}}$

ب) ضخامت جداره برحسب میلی‌متر

حل (توسط هنرجو):

مرحله ۴) نوشتن رابطه قسمت ب:

$$R = \frac{d}{k}$$

مرحله ۵) جای گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه فوق

$$\frac{0/5}{1} = \frac{d}{0/55}$$

رابطه فوق را طرفین و وسطین می‌کنیم

$$d \times 1 = 0/5 \times 0/55$$

$$d = 0/275m$$

مرحله ۶) چون در قسمت ب واحد را برحسب cm

خواسته است لذا واحد d را از m به cm تبدیل

می‌کنیم

$$d = 0/275 \times 100cm$$

$$d = 27/5cm$$

تمرین ۳۰-۱: جداره مسطح یک کوره از آجر نسوز و دیرگداز به طول ۴۵ cm و ارتفاع ۵۵ cm در سطوح داخلی و خارجی به ترتیب به ترتیب 15°C و 45°C گرم شده است، اگر ضخامت این جداره ۳۲ cm و ضریب هدایت حرارتی آن به طور متوسط $\frac{W}{m \cdot ^{\circ}\text{C}} = 0.82$ باشد مطلوبست محاسبه و تعیین:

الف) شدت جریان حرارتی جداره q بر حسب وات و کیلوکالری بر ساعت

ب) رسم دیاگرام توزیع درجه حرارت در ضخامت جداره و تعیین شیب حرارتی آن $\left(\frac{\Delta\theta}{d}\right)$ بر حسب درجه سانتی‌گراد بر سانتی‌متر و همچنین درجه سانتی‌گراد بر متر

ج) شدت جریان حرارتی مخصوص جداره (q_e) بر حسب وات بر متر مربع و کیلوکالری بر متر مربع بر ساعت

د) هدایت حرارتی جداره σ بر حسب وات بر متر مربع بر درجه سانتی‌گراد و مقاومت حرارتی آن (R) بر حسب مترمربع در درجه سانتی‌گراد بر وات.
حل (توسط هنرجو):

تمرین ۳۱-۱: ضریب هدایت حرارتی جداره یک کوره از آجر شاموتی متخلخل در 300°C و 1200°C به ترتیب برابر $0/5$ و $0/7$ وات بر متر بر درجه سانتی‌گراد است. چنانچه ضخامت این کوره ۲۵ سانتی‌متر باشد اولاً: هدایت حرارتی (σ) و مقاومت آن (R) را تعیین کنید. (فرض کنید که ضریب هدایت حرارتی در این فاصله دمایی متناسب با تغییرات درجه حرارت است). ثانیاً: شدت جریان حرارتی مخصوص جداره را به دست آورید.

حل (توسط هنرجو):

تمرین ۳۲-۱: ضریب هدایت حرارتی یک دیواره نسوز در 200°C و 500°C به ترتیب 0.018 و 0.02 کالری بر سانتی متر بر درجه سانتی گراد بر ثانیه است. چنانچه ضخامت این جداره 30 cm باشد مطلوب است:

الف) هدایت حرارتی (σ) و مقاومت آن (R) را تعیین کنید.

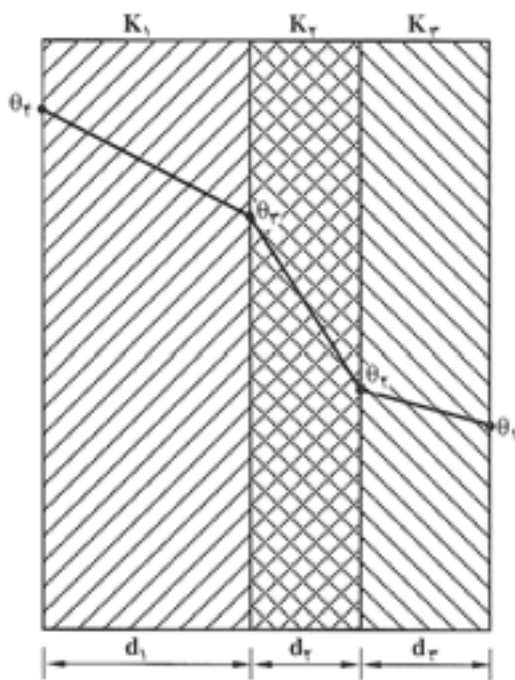
ب) شدت جریان حرارتی مخصوص جداره را به دست آورید.

حل (توسط هنرجو):

* رابطه انتقال حرارت برای دیواره مسطح چند لایه:

تاکنون مطالبی که ذکر شد مربوط به دیواره‌های یک لایه مسطح بود اما در اکثر کاربردهای صنعتی دیواره‌ها چند لایه می‌باشند مانند شیشه‌های دو جداره که از دو لایه شیشه‌ای تشکیل شده‌اند که در بین لایه‌های شیشه‌ای یک لایه از گاز آرگون می‌باشد یا جدار کوره‌ها که معمولاً چند لایه می‌باشند، حال باید بتوانیم مقدار حرارت انتقال یافته از دیواره‌های چند لایه را محاسبه کنیم. برای این منظور یک دیواره سه لایه مطابق شکل زیر در نظر گرفته می‌شود که ضریب هدایت حرارتی این سه لایه به ترتیب K_1 ، K_p و K_s با ضخامت‌های d_1 ، d_p و d_s می‌باشد. برای این منظور باید ابتدا ضریب هدایت حرارتی معادل این دیواره را حساب نمائیم که این ضریب با استفاده از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$K_{eq} = \frac{d}{\frac{d_1}{K_1} + \frac{d_p}{K_p} + \frac{d_s}{K_s}}$$



شکل ۴-۱- انتقال حرارت از یک دیواره سه لایه

$$d = d_1 + d_p + d_s$$

که در آن:

بنابراین رابطه انتقال حرارت برای این دیواره چنین خواهد بود:

$$Q = K_{eq} \frac{A(\theta_f - \theta_1)t}{d}$$

تمرین ۳۳-۱: مشخصات و ابعاد یک جداره مسطح دو لایه عبارت است از:

$$\begin{cases} d_1 & 140 \text{ mm} \\ d_p & 100 \text{ mm} \\ A & 0.1 \text{ m}^2 \end{cases} \begin{cases} K_1 & 0.006 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}} \\ K_p & 0.003 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}} \\ \theta_1 & 50^\circ \text{C} \\ \theta_3 & 1100^\circ \text{C} \end{cases}$$

چنانچه ضریب هدایت حرارتی هر لایه ثابت باشد مطلوبست محاسبه و تعیین:

الف) ضریب هدایت حرارتی معادل جداره

ب) مقدار حرارت انتقال یافته از جداره در مدت $\frac{1}{4}$ hr بر حسب کیلوژول .

حل (توسط هنرجو):

مثال ۲۱-۱: مشخصات و ابعاد یک جداره مسطح دو لایه عبارت است از:

$$\begin{cases} d_1 & 12 \text{ cm} \\ d_p & 8 \text{ cm} \\ A & 1000 \text{ cm}^2 \\ t & 10 \text{ min} \end{cases} \begin{cases} K_1 & 0.005 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}} \\ K_p & 0.004 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}} \\ \theta_1 & 40^\circ \text{C} \\ \theta_3 & 1000^\circ \text{C} \end{cases}$$

چنانچه ضریب هدایت حرارتی هر لایه ثابت باشد مطلوب است محاسبه و تعیین:

الف- ضریب هدایت حرارتی معادل جداره

ب - مقدار حرارت انتقال یافته از جداره در مدت ۱۰ دقیقه بر حسب ج (۲/۴ cal)

حل: مرحله ۱) داده‌ها و خواسته‌ها بصورت خلاصه نوشته شود.

داده‌ها	خواسته‌ها
d_1 12cm	
d_p 8cm	
A 1000cm ²	
t 10min	
K_1 0.005	$K_{eq} ? \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$
K_p 0.004	$Q ? j$
θ_1 40°C	
θ_3 1000°C	

مرحله ۲) تبدیل واحد: واحد زمان از دقیقه به ثانیه تبدیل می‌شود.

$$t \quad 10 \text{ min}$$

$$t \quad 10 \times 60 \text{ s}$$

$$t \quad 600 \text{ s}$$

مرحله ۳) رابطه مربوط به قسمت الف نوشته

می شود.

$$K_{eq} = \frac{d}{\frac{d_1}{K_1} + \frac{d_2}{K_2}}$$

مرحله ۴) جای گذاری مقادیر داده ها در رابطه فوق

$$K_{eq} = \frac{12+8}{\frac{12}{0.005} + \frac{8}{0.004}}$$

مرحله ۵) محاسبات ریاضی

$$K_{eq} = \frac{20}{2400+2000}$$

$$K_{eq} = \frac{20}{4400}$$

$$K_{eq} = 0.00455 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C.S}}$$

مرحله ۶) رابطه مربوط به قسمت ب را نوشته:

$$Q = K_{eq} \frac{A(\theta_2 - \theta_1)t}{d}$$

مرحله ۷) جای گذاری مقادیر داده ها در رابطه فوق.

$$Q = \frac{0.00455 \times 1000 \times (1000 - 40) \times 600}{20}$$

مرحله ۸) محاسبات ریاضی:

$$Q = \frac{0.00455 \times 1000 \times 960 \times 600}{20}$$

$$Q = \frac{2620800}{20}$$

$$Q = 131040 \text{ cal}$$

چون در قسمت ب مقدار انتقال حرارت را برحسب ژول خواسته و می دانیم $4/2$ ج می باشد لذا خواهیم داشت:

$$Q = 131040 \times 4/2 \text{ j}$$

$$Q = 262080 \text{ j}$$

تمرین ۳۴-۱: جداره مسطح یک کوره از سه لایه تشکیل شده است که ابعاد مشخصات آن به صورت زیر است:

d_1	۱۰cm	K_1	$0/002 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}}$
d_p	۱۵cm		
d_s	۲۰cm	K_p	$0/0015 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}}$
A	300 cm^2	K_s	$0/001 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}}$
θ_1	50°C		
θ_f	125°C		

مطلوب است محاسبه:

(الف) ضریب هدایت حرارتی معادل دیواره برحسب $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}}$

(ب) مقدار حرارت انتقال یافته در مدت ۳۰ دقیقه

برحسب cal و kj

(ج) رسم دیاگرام توزیع درجه حرارت.

حل (توسط هنرجو):

تمرین ۳۵-۱: مشخصات و ابعاد یک جداره مسطح

سه لایه عبارت است از:

d_1 ۶cm	K_1 $1/2 \times 10^{-3} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$
d_p ۸cm	
d_3 ۱۰cm	K_p $1/6 \times 10^{-3} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$
A ۵۰۰cm ^۲	
θ_1 ۳۰°C	K_3 $2 \times 10^{-3} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$
θ_f ۱۰۳۰°C	

مطلوب است محاسبه:

الف - ضریب هدایت حرارتی معادل دیواره برحسب

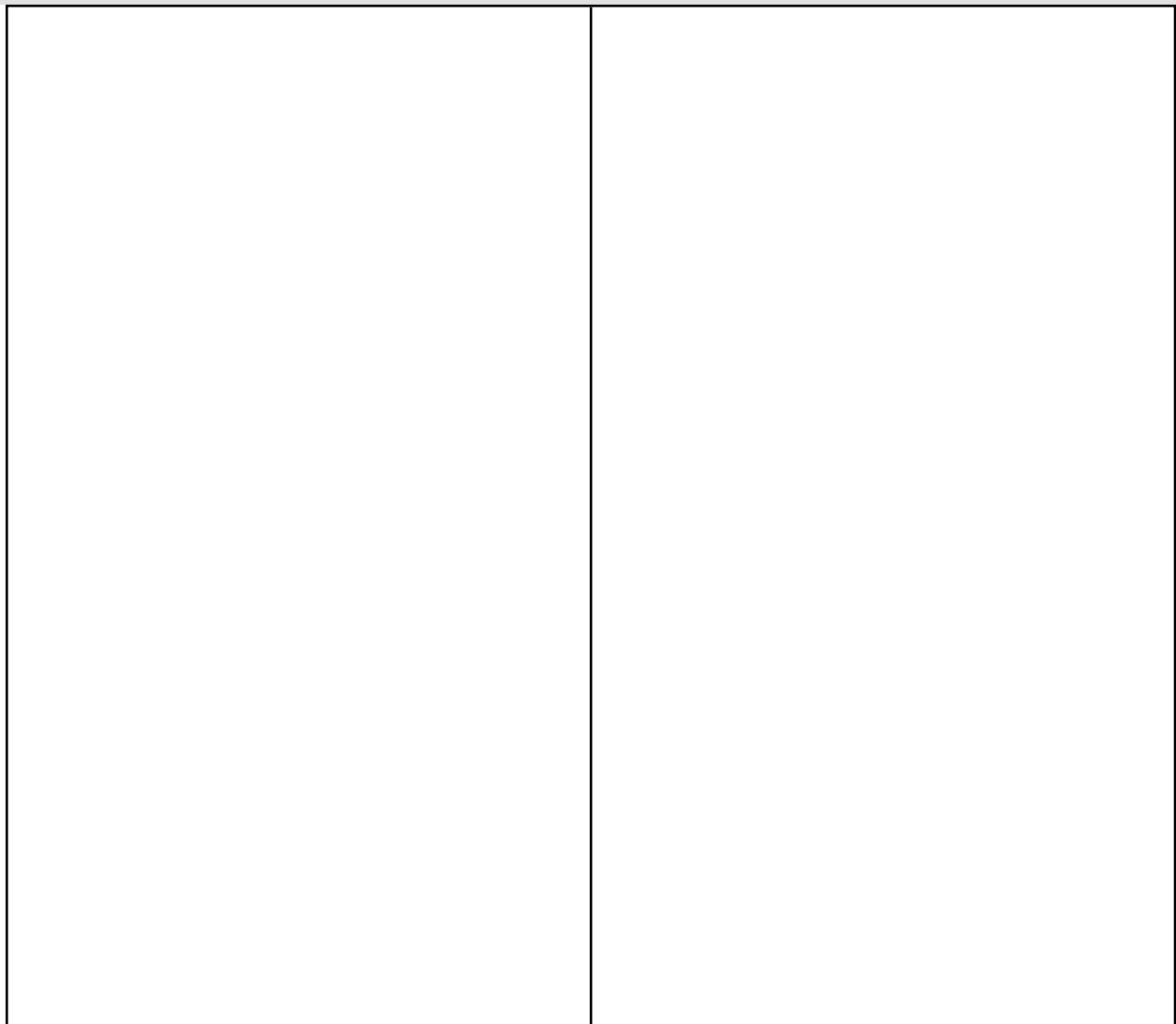
$$\frac{w}{\text{m} \cdot ^\circ\text{C}}$$

ب - مقدار حرارت انتقال یافته در مدت ۵۰ دقیقه

برحسب kJ

ج - شدت جریان حرارتی برحسب $\frac{\text{kcal}}{\text{hr}}$

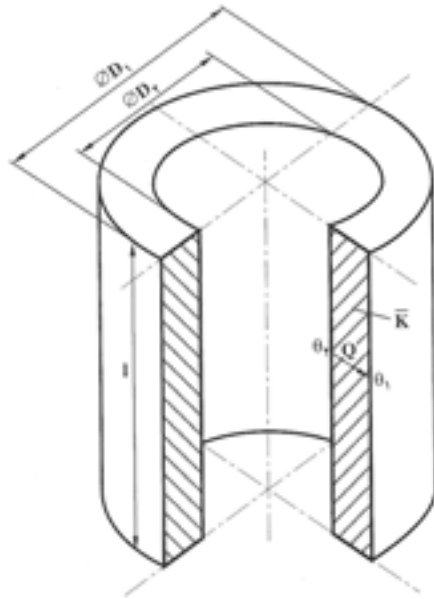
حل (توسط هنرجو):



*** رابطه انتقال حرارت برای دیواره‌های استوانه‌ای شکل:**

تاکنون رابطه انتقال حرارت برای دیواره‌های مسطح یک لایه و چندلایه بیان شد. در کاربردهای صنعتی مانند کوره‌های ریخته‌گری معمولاً از دیواره‌های استوانه‌ای شکل یک یا چند لایه استفاده می‌شود علت این مسأله این است که کوره‌های استوانه‌ای دارای سطح کمتری نسبت به کوره‌های با جداره مسطح می‌باشند در نتیجه با توجه به این که مقدار حرارت انتقال یافته نسبت مستقیم با سطح دارد، اتلاف حرارت از طریق انتقال حرارت به روش هدایت در کوره‌های استوانه‌ای شکل کمتر از کوره‌های با جداره مسطح می‌باشند، بنابراین باید بتوانیم مقدار حرارت انتقال یافته به روش هدایت را در کوره‌های استوانه‌ای شکل محاسبه کنیم. برای این منظور جداره استوانه‌ای مطابق شکل زیر در نظر می‌گیریم. ثابت شده است که مقدار حرارت انتقال یافته از دیواره مطابق رابطه زیر به دست می‌آید.

$$Q \approx \frac{\pi \bar{K} l t}{\frac{D_1 - D_p}{D_1 + D_p}} (\theta_p - \theta_1)$$



شکل ۵-۱- انتقال حرارت از دیواره استوانه ای

که در این رابطه:

Q = مقدار حرارت انتقال یافته از جداره استوانه‌ای بر حسب cal یا j

\bar{k} = ضریب هدایت حرارتی متوسط دیواره بر حسب $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$ یا $\frac{\text{w}}{\text{m} \cdot \text{c}}$

L = ارتفاع دیواره استوانه‌ای بر حسب cm یا m

t = زمان انتقال حرارت بر حسب (s)

D_1 = قطر خارجی دیواره استوانه‌ای بر حسب cm یا m

D_p = قطر داخلی دیواره استوانه‌ای بر حسب cm یا m

θ_1 = درجه حرارت سطح خارجی بر حسب $^{\circ}\text{c}$ یا $^{\circ}\text{k}$

θ_p = درجه حرارت سطح داخلی بر حسب $^{\circ}\text{c}$ یا $^{\circ}\text{k}$

تذکر: رابطه انتقال حرارت به طریق هدایت در دیواره استوانه‌ای زمانی قابل استفاده است که قطر داخلی استوانه،

برابر یا بزرگتر از نصف قطر خارجی آن باشد:

$$D_p \geq \frac{D_1}{2}$$

تمرین ۳۶-۱: درجه حرارت سطح داخلی و خارجی
 جداره یک لایه یک کوره استوانه‌ای شکل به ترتیب
 عبارتند از: θ_p 700°C و θ_1 90°C و ارتفاع داخلی
 کوره 0.7 m ، قطر داخلی D_p 0.9 m ، قطر خارجی
 D_1 0.11 cm و ضریب هدایت حرارتی متوسط
 $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ 0.0015 می‌باشد، مطلوبست مقدار حرارت
 انتقال یافته از این جداره برحسب کیلوژول در مدت
 0.5 ساعت

حل (توسط هنرجو):

مثال ۲۲-۱: درجه حرارت سطح داخلی و خارجی
 جداره یک لایه یک کوره استوانه‌ای شکل به ترتیب
 عبارتند از: θ_p 800°C و θ_1 100°C و ارتفاع
 داخلی کوره 80 cm و قطر داخلی D_p 80 cm ، قطر
 خارجی D_1 120 cm و ضریب هدایت حرارتی متوسط
 $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ 0.0015 می‌باشد، مطلوبست مقدار حرارت
 انتقال یافته از این جداره برحسب کیلوکالری در مدت
 دو ساعت.

حل: مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها به‌طور خلاصه

نوشته می‌شوند.

داده‌ها	خواسته‌ها
θ_p 800°C	Q ? kcal
θ_1 100°C	
L 80 cm	
D_p 80 cm	
D_1 120 cm	
t 2 hr	
\bar{k} $0.0015 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$	

مرحله (۲) تبدیل واحد. واحد زمان انتقال حرارت از

ساعت به ثانیه تبدیل می‌شود.

$$t \quad 2\text{ hr}$$

$$t \quad 2 \times 3600\text{ s}$$

$$t \quad 7200\text{ s}$$

مرحله (۳) رابطه مربوط به مسأله نوشته می‌شود.

$$Q = \frac{\pi \bar{k} L t}{\frac{D_1 - D_p}{D_1 + D_p}} (\theta_p - \theta_1)$$

	<p>مرحله ۴) جای گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه فوق</p> $Q = \frac{3/14 \times 0/0015 \times 80 \times 7200}{\frac{120-80}{120+80}} (800-100)$ <p>مرحله ۵) محاسبات ریاضی:</p> $Q = \frac{3/14 \times 0/0015 \times 80 \times 7200 \times 700}{\frac{40}{200}}$ $Q = \frac{1899072}{0/2}$ $Q = 949536 \text{ cal}$ <p>چون مقدار حرارت انتقال یافته بر حسب kcal خواسته شده است لذا جواب را به ۱۰۰۰ تقسیم می‌کنیم تا به kcal تبدیل شود.</p> $Q = \frac{9495360}{1000} \Rightarrow \boxed{Q = 9495/36 \text{ kcal}}$
	<p>تمرین ۳۷-۱: دیواره‌ای استوانه‌ای شکل از جنس نسوز با ابعاد و مشخصات زیر مفروض است:</p> <p>$D_1 = 80 \text{ cm}$</p> <p>$D_2 = 60 \text{ cm}$</p> <p>$L = 1 \text{ m}$</p> <p>$\bar{k} = 1/5 \times 10^3 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$</p> <p>در صورتی که دمای داخل و خارج این دیواره به ترتیب 500°C و 150°C باشد مطلوب است:</p> <p>الف) محاسبه میزان گرمای انتقال یافته در ۳۰ دقیقه</p> <p>ب) شدت جریان حرارتی مخصوص بر حسب $\frac{\text{W}}{\text{m}^2}$</p> <p>حل (توسط هنرجو):</p>

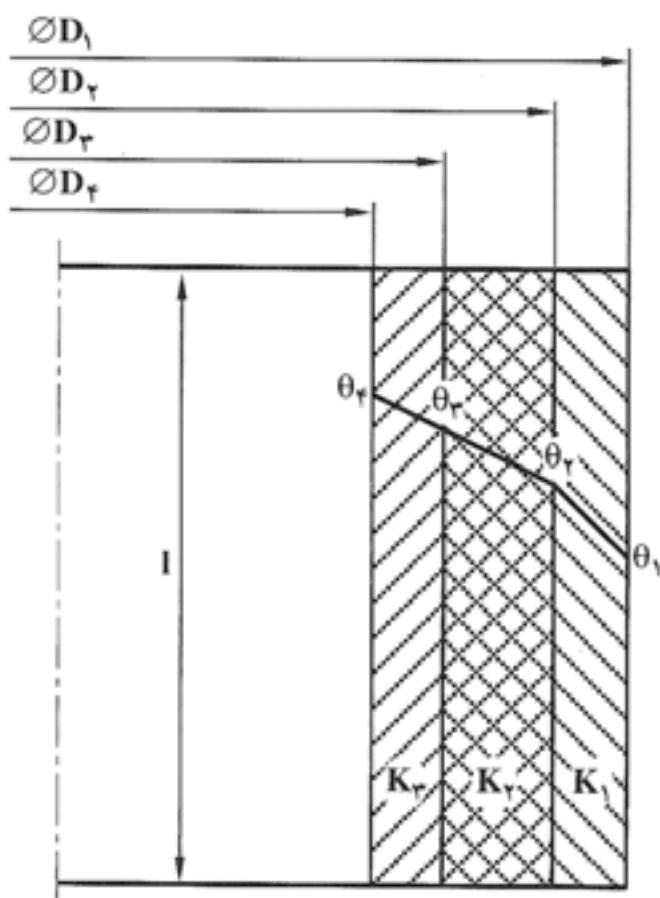
*** رابطه ضریب هدایت حرارتی معادل برای دیواره‌های استوانه‌ای شکل چند لایه:**

معمولاً کوره‌های ذوب و ریخته‌گری بصورت چند لایه از جنس‌های مختلف (آجر نسوز، خاک نسوز و سایر مواد دیرگداز...) برای کاهش اتلاف حرارت ساخته می‌شوند، علت این است که اگر از یک لایه ساخته شوند از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه نخواهد بود بنابراین دیواره کوره‌های ذوب به خاطر کاهش هزینه‌ها و افزایش راندمان حرارتی چندلایه ساخته می‌شوند.

برای این که بتوانیم مقدار حرارت انتقال یافته به روش هدایت را از دیواره‌های استوانه‌ای چندلایه محاسبه نمائیم یک دیواره سه لایه مطابق شکل زیر در نظر می‌گیریم. در ابتدا باید ضریب هدایت حرارتی معادل دیواره را مطابق رابطه زیر به دست آوریم.

$$K_{eq} = \frac{l}{\frac{1}{K_1} \times \frac{D_1}{D_1 + D_2} + \frac{1}{K_2} \times \frac{D_2}{D_2 + D_3} + \frac{1}{K_3} \times \frac{D_3}{D_3 + D_4}}$$

ضریب هدایت‌های حرارتی هر لایه K_1 ، K_2 و K_3 ثابت فرض شده‌اند.



شکل ۶-۱- انتقال حرارت از دیواره سه لایه استوانه‌ای شکل

برای محاسبه مقدار حرارت انتقال یافته از طریق هدایت برای یک دیواره استوانه‌ای شکل چندلایه از رابطه زیر می‌توان استفاده کرد.

$$Q = \pi K_{eq} L t (\theta_f - \theta_1)$$

لازم به توضیح است که روابط مربوط به K_{eq} و Q در این قسمت در صورتی صادق هستند که قطر داخلی دیواره چندلایه بزرگ‌تر یا مساوی نصف قطر خارجی دیواره چندلایه باشد یعنی:

$$D_f \geq \frac{D_1}{2}$$

تذکر:

۱- قطر داخلی (کوچکترین قطر D_p) باید از نصف قطر خارجی (بزرگترین قطر D_1) بزرگتر یا مساوی آن باشد.

۲- تعداد جمله‌های مخرج رابطه ضریب هدایت حرارتی معادل باید با تعداد لایه‌ها برابر باشد.

۳- قسمت داخل پرانتز در رابطه انتقال حرارت (Q) باید اختلاف درجه حرارت‌های داخلی و خارجی دیواره چندلایه باشد مثلاً برای یک دیواره هفت (۷) لایه درجه حرارت برابر (θ_1, θ_8) خواهد بود.

تمرین ۳۸-۱: درجه حرارت سطح داخلی و خارجی جداره دولایه یک کوره استوانه‌ای شکل به ترتیب عبارتند از: $\theta_3 = 1400^\circ\text{C}$ و $\theta_1 = 1200^\circ\text{C}$ و ابعاد این کوره برابر است با:

ارتفاع داخلی کوره $L = 1/4\text{m}$ و قطر داخلی $D_p = 1300\text{mm}$ و قطر میانی $D_1 = 1500\text{mm}$ و قطر خارجی $D_2 = 1700\text{mm}$ ، لایه خارجی از خاک رس به ضریب هدایت حرارتی متوسط $0.005 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ و لایه داخلی از آجرنسوز به ضریب هدایت حرارتی متوسط $0.003 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ تشکیل شده است، مطلوبست محاسبه و تعیین:

الف) ضریب هدایت حرارتی معادل دیواره

ب) مقدار حرارت انتقال یافته از این جداره بر حسب کیلوکالری و کیلوژول در مدت ۱ ساعت
حل (توسط هنرجو):

مثال ۲۳-۱: درجه حرارت سطح داخلی و خارجی جداره دولایه یک کوره استوانه‌ای شکل به ترتیب عبارتند از: $\theta_3 = 1500^\circ\text{C}$ و $\theta_1 = 1100^\circ\text{C}$ و ابعاد این کوره برابر است با: ارتفاع داخلی کوره $L = 150\text{cm}$ و قطر داخلی $D_p = 120\text{cm}$ و قطر میانی $D_1 = 140\text{cm}$ و قطر خارجی $D_2 = 160\text{cm}$ ، لایه خارجی از خاک رس به ضریب هدایت حرارتی متوسط $0.004 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ و لایه داخلی از آجرنسوز به ضریب هدایت حرارتی متوسط $0.002 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ تشکیل شده است، مطلوبست محاسبه الف - ضریب هدایت حرارتی معادل دیواره

ب - مقدار حرارت انتقال یافته از این جداره بر حسب کیلوکالری و کیلوژول در مدت ۵۰ دقیقه.
 $1\text{cal} \approx 4/2 \pi \approx 3$

حل: مرحله (۱) : داده‌ها و خواسته‌ها به‌طور خلاصه نوشته می‌شود.

داده‌ها	خواسته‌ها
θ_3 ۱۵۰۰°C	$K_{eq} ? \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ $Q ? \text{ kcal, kj}$
θ_1 ۱۱۰۰°C	
L ۱۵۰cm	
D_3 ۱۲۰cm	
D_2 ۱۴۰cm	
D_1 ۱۶۰cm	
t ۵۰min	
\bar{k}_1 ۰/۰۰۴ $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$	
\bar{k}_2 ۰/۰۰۲ $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$	
<p>مرحله ۲) تبدیل واحد: واحد زمان از دقیقه به ثانیه تبدیل می‌شود.</p> <p>t ۵۰min</p> <p>t ۵۰×۶۰s</p> <p>t ۳۰۰۰s</p> <p>مرحله ۳) نوشتن رابطه برای قسمت الف :</p> $K_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{K_1} \times \frac{D_1}{D_1 + D_2} + \frac{1}{K_2} \times \frac{D_2}{D_2 + D_3}}$ <p>مرحله ۴) جای گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه فوق.</p> $K_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{0/004} \times \frac{160}{160+140} + \frac{1}{0/002} \times \frac{140}{140+120}}$ <p>مرحله ۵) محاسبات ریاضی</p> $K_{eq} = \frac{1}{\frac{1}{0/004} \times \frac{20}{300} + \frac{1}{0/002} \times \frac{20}{260}}$ $K_{eq} = \frac{1}{\frac{20}{1/2} + \frac{20}{0/52}}$	

$$K_{eq} = \frac{1}{16/7 + 38/5}$$

$$K_{eq} = \frac{1}{55/2}$$

$$K_{eq} = 0.018 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$$

مرحله ۶ نوشتن رابطه قسمت ب:

$$Q = \pi K_{eq} L t (\theta_m - \theta_1)$$

مرحله ۷ جای گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه فوق.

$$Q = 3 \times 0.018 \times 150 \times 30000 (1500 - 1100)$$

مرحله ۸ محاسبات ریاضی

$$Q = 3 \times 0.018 \times 150 \times 30000 \times 400$$

$$Q = 9720000 \text{ cal}$$

* چون مقدار انتقال حرارت بر حسب kcal خواسته

است لذا بر ۱۰۰۰ تقسیم می‌کنیم.

$$Q = \frac{9720000}{1000}$$

$$Q = 9720 \text{ kcal}$$

* همچنین مقدار انتقال حرارت را بر حسب کیلوژول

محاسبه می‌کنیم.

$$Q = 9720 \times 4/2$$

$$Q = 40824 \text{ kJ}$$

تمرین ۳۹-۱: درجه حرارت سطح داخلی و خارجی دیواره دولایه یک کوره استوانه‌ای شکل به ترتیب عبارتند از: 95°C و θ_3 و 110°C و θ_1 ابعاد این کوره برابرند با:

ارتفاع داخلی کوره $L = 130\text{cm}$ و قطر داخلی $D_3 = 150\text{cm}$ و قطر میانی $D_p = 160\text{cm}$ و قطر خارجی $D_1 = 180\text{cm}$ ، لایه خارجی از خاک رس به ضریب هدایت حرارتی متوسط $k_1 = 0.03 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ و لایه داخلی از آجرنسوز به ضریب هدایت حرارتی متوسط $k_p = 0.018 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ تشکیل شده است، مطلوبست محاسبه:

الف) مقدار حرارت انتقال یافته از این جداره برحسب کیلوکالری در مدت ۲ ساعت

ب) درجه حرارت در فصل مشترک آجرنسوز و خاک رس

ج) رسم دیاگرام توزیع درجه حرارت در جداره کوره

حل (توسط هنرجو):

تمرین ۴۰-۱: درجه حرارت سطح داخلی و خارجی
 جداره سه لایه یک کوره استوانه‌ای شکل به ترتیب
 عبارتند از: $\theta_f = 1200^\circ\text{C}$ ، $\theta_1 = 50^\circ\text{C}$ ابعاد این
 کوره عبارتند از: ارتفاع داخلی کوره $L = 150\text{cm}$ و
 قطر لایه‌ها از لایه داخلی به سمت خارجی به ترتیب
 $D_f = 100\text{cm}$ و $D_s = 120\text{cm}$ و $D_p = 140\text{cm}$ و
 $D_1 = 160\text{cm}$ و ضریب هدایت حرارتی لایه‌ها به
 ترتیب از خارج به داخل $k_1 = 0.003 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$ و
 $k_s = 0.002 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$ و $k_p = 0.0025 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$
 مطلوب است محاسبه:

الف) مقدار ضریب هدایت حرارتی معادل دیواره
 (K_{eq})

ب) مقدار حرارت انتقال یافته (Q) از این جداره
 بر حسب ژول در مدت $1/5$ ساعت.

حل (توسط هنرجو):

تمرین ۴۱-۱: مشخصات یک کوره استوانه‌ای سه

لایه به شرح زیر می‌باشد:

D_1 ۱۵۰cm	k_1 ۰/۰۰۱۲ $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$
D_p ۱۳۰cm	
θ_1 ۸۰°c	k_p ۰/۰۰۱۸ $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$
θ_f ۱۰۰۰°c	
L ۸۰cm	k_s ۰/۰۰۱ $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$
D_s ۱۰۰cm	
D_f ۸۰cm	

مطلوب است محاسبه:

الف) ضریب هدایت حرارتی معادل دیواره

ب) مقدار حرارت انتقال یافته از این دیواره بر حسب

cal در مدت زمان ۲۰ دقیقه

ج) رسم دیاگرام توزیع درجه حرارت در جداره

کوره

حل (توسط هنرجو):

* رابطه انتقال حرارت به طریق جابه‌جایی (همرفت یا کنوکسیون):

با توجه به مطالب ذکر شده، انتقال حرارت به طریق جابه‌جایی از طریق جابه‌جا شدن مولکول‌های قسمت سرد و قسمت گرم جسم صورت می‌گیرد و این عمل تا زمانی ادامه می‌یابد که دمای هر دو قسمت جسم یکسان شود. به عنوان مثال می‌توان رادیاتور شوفاژ را در نظر گرفت، هنگامی که موتورخانه روشن می‌شود رادیاتور سرد است، ما با گذشت زمان آب موجود در دیگ موتورخانه گرم شده و حرکت کرده و جای خود را با آب سرد موجود در رادیاتور تغییر می‌دهد. در اثر برخورد آب گرم با سطح رادیاتور سرد حرارت از آب به دیواره رادیاتور منتقل می‌شود و رادیاتور گرم می‌شود. با توجه به این مثال می‌توان نتیجه گرفت که هرچه اختلاف درجه حرارت بین آب و دیواره رادیاتور بیشتر باشد، حرارت بیشتری از آب به دیواره منتقل می‌شود، از طرفی هرچه سطح دیواره رادیاتور بزرگ‌تر باشد نیز حرارت بیشتری از آب گرم به دیواره رادیاتور منتقل خواهد شد و هرچه زمان تماس آب گرم با دیواره بیشتر باشد، حرارت انتقال یافته به دیواره رادیاتور بیشتر است پس می‌توان نتیجه گرفت، اگر سیالی (مایع یا گاز) با دمای (θ_F) از کنار دیواره با دمای (θ_w) و سطح (A) در مدت زمان (t) عبور کند مقدار گرما از سیال به دیواره منتقل می‌شود. بنابراین گرمای انتقال یافته از سیال به دیواره نسبت مستقیم با اختلاف درجه حرارت سیال و دیواره $(\theta_F - \theta_w)$ ، سطح دیواره (A) و زمان تماس (t) دارد. در نتیجه داریم:

$$Q \propto A(\theta_F - \theta_w) \times t$$

حال برای تبدیل این تناسب به تساوی نیاز به یک ضریب می‌باشد که با α_c نشان داده می‌شود که این ضریب متناسب با جنس سیال، شکل و ابعاد دیواره می‌باشد. α_c را ضریب جابه‌جایی یا کنوکسیون می‌نامند. بنابراین رابطه انتقال حرارت به طریق جابه‌جایی به صورت زیر خواهد بود:

$$Q = \alpha_c A (\theta_F - \theta_w) t$$

این رابطه معمولاً به صورت زیر نمایش می‌دهد:

$$\frac{Q}{t} = \alpha_c A (\theta_F - \theta_w)$$

این رابطه به رابطه نیوتن مشهور می‌باشد.

* واحد ضریب جابه‌جایی یا کنوکسیون در سیستم SI:

واحد ضریب جابه‌جایی یا کنوکسیون در سیستم SI براساس رابطه انتقال حرارت به طریق جابه‌جایی به دست می‌آید که در این رابطه واحد پارامترهای آن عبارتند از:

$$Q = \text{حرارت انتقال یافته به طریق جابه‌جایی بر حسب (j)}$$

$$t = \text{زمان بر حسب (s)}$$

A = سطح مشترک سیال و دیواره برحسب m²

(θ_F - θ_w) = اختلاف درجه حرارت برحسب °k یا معادل آن °c

بنابراین با جای گذاری این واحدها در رابطه انتقال حرارت به طریق جابه جایی خواهیم داشت:

$$\frac{Q}{t} = \alpha_c A (\theta_F - \theta_w)$$

$$\frac{j}{s} = \alpha_c \times m^2 \times ^\circ C$$

$$W = \alpha_c \times m^2 \times ^\circ C$$

$$\boxed{\alpha_c \text{ واحد} \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}}$$

نکته: رابطه $\frac{Q}{t} = \alpha_c A (\theta_F - \theta_w)$ برای زمانی است که حرارت از سیال با درجه حرارت بالاتر به دیواره جامد با درجه حرارت پایین تر منتقل می شود، در صورتی که انتقال حرارت از دیواره گرم به سیال سرد صورت پذیرد رابطه انتقال حرارت به صورت زیر خواهد بود:

$$\frac{Q}{t} = \alpha_c A (\theta_w - \theta_F)$$

* واحدهای دیگر ضریب جابه جایی (α_c) به صورت زیر خواهد بود:

Q = حرارت انتقال یافته برحسب (cal)

t = زمان برحسب (s)

A = سطح برحسب cm²

(θ_F - θ_w) = اختلاف درجه حرارت برحسب °c

بنابراین با جای گذاری در رابطه انتقال حرارت به طریق جابه جایی خواهیم داشت:

$$\frac{Q}{t} = \alpha_c A (\theta_F - \theta_w)$$

$$\text{واحد} \frac{\text{cal}}{\text{s}} = \alpha_c \times \text{cm}^2 \times ^\circ C$$

$$\text{واحد} \alpha_c \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ C \cdot \text{s}}$$

در صورتی که داشته باشیم:

Q = حرارت انتقال یافته برحسب (kcal)

t = زمان برحسب (hr)

$$A = \text{سطح برحسب } m^2$$

$$(\theta_F - \theta_w) = \text{اختلاف درجه حرارت برحسب } ^\circ C$$

بنابراین با جای گذاری واحدهای فوق در رابطه انتقال حرارت به طریق جابه‌جایی خواهیم داشت:

$$\text{واحد } \frac{Q}{t} = \alpha_c A (\theta_F - \theta_w)$$

$$\text{واحد } \frac{\text{kcal}}{\text{hr}} = \alpha_c \times m^2 \times ^\circ C$$

$$\text{واحد } \alpha_c = \frac{\text{kcal}}{m^2 \cdot ^\circ C \cdot \text{hr}}$$

تمرین ۴۲-۱: برای خنک کردن یک صفحه فلزی گرم به ابعاد $0.9m \times 0.5m$ دمای $45^\circ C$ ، هوایی با دمای $40^\circ C$ به مدت یک دقیقه روی آن دمیده می‌شود اگر در این انتقال ضریب کنوکسیون $30 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ باشد، مقدار گرمای کل انتقالی برحسب کیلوکالری چه اندازه خواهد بود.

حل (توسط هنرجو):

مثال ۲۴-۱: برای خنک کردن یک ورق فولاد گرم به ابعاد $60 \times 100 \text{ cm}^2$ و دمای $40^\circ C$ ، هوایی با دمای $50^\circ C$ به مدت $50s$ روی آن دمیده می‌شود اگر در این انتقال ضریب کنوکسیون $20 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$ باشد، مقدار گرمای کل انتقالی برحسب کیلوژول چه اندازه خواهد بود.

حل: مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها به‌طور خلاصه

نوشته می‌شود.

داده‌ها	خواسته‌ها
A $60 \times 100 = 6000 \text{ cm}^2$	Q ? kJ
$\theta_w = 40^\circ C$	
$\theta_F = 50^\circ C$	
t $50s$	
$\alpha_c = 20 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$	

مرحله (۲) تبدیل واحد. در اینجا واحد سطح از cm^2

به m^2 تبدیل می‌شود.

$$A = 6000 \text{ cm}^2$$

$$A = 6000 \times \frac{1}{10000} m^2$$

$$A = \frac{6}{10} m^2$$

$$A = 0.6 m^2$$

مرحله ۳) نوشتن رابطه مربوط به مسأله:

$$Q = \alpha_c A (\theta_w - \theta_F)$$

مرحله ۴) جای گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه فوق

$$Q = 20 \times 0.6 \times (400 - 50) \times 50$$

$$Q = 20 \times 0.6 \times 350 \times 50 \text{ J}$$

$$Q = 210000 \text{ J}$$

چون بر حسب kJ خواسته شده است بر ۱۰۰۰ تقسیم

$$Q = \frac{210000}{1000}$$

می‌کنیم.

$$Q = 210 \text{ kJ}$$

تمرین ۴۳-۱: برای سرد کردن یک ورق فولادی 800°C به مساحت 8000 cm^2 ، هوای 25°C به مدت 0.5 دقیقه روی آن دمیده می‌شود در صورتی که مقدار گرمای کل انتقالی 180 kJ باشد، ضریب کنوکسیون را بر حسب $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$ و $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{hr}}$ به دست آورید. حل (توسط هنرجو):

مثال ۲۵-۱: برای سرد کردن یک صفحه چدنی 700°C به مساحت 0.5 m^2 ، هوای 25°C به مدت 45 s روی آن دمیده می‌شود در صورتی که مقدار گرمای کل انتقالی 42 kcal باشد، ضریب کنوکسیون را بر حسب $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{hr}}$ و $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$ به دست آورید. حل: مرحله ۱) داده‌ها و خواسته‌ها به‌طور خلاصه

نوشته می‌شوند

داده‌ها	خواسته‌ها
$\theta_w = 700^\circ\text{C}$	$\alpha_c = ? \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$ $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{hr}}$
$A = 0.5 \text{ m}^2$	
$\theta_F = 25^\circ\text{C}$	
$t = 45 \text{ s}$	
$Q = 42 \text{ kcal}$	

مرحله ۲) تبدیل واحد: واحد زمان از ثانیه به ساعت

تبدیل می‌شود.

$$t = ۴۵s$$

$$t = ۴۵ \times \left(\frac{1}{۳۶۰۰} \right) hr$$

$$t = \frac{۴۵}{۳۶۰۰} hr$$

$$t = ۰/۰۱۲۵hr$$

مرحله ۳) نوشتن رابطه مربوط به مسأله فوق.

$$Q = \alpha_c A (\theta_w - \theta_F) t$$

مرحله ۴) جای‌گذاری داده‌ها در رابطه فوق.

$$۴۲ = \alpha_c \times ۰/۵ \times (۷۰۰ - ۲۵) \times ۰/۰۱۲۵$$

$$۴۲ = \alpha_c \times ۰/۵ \times ۶۷۵ \times ۰/۰۱۲۵$$

$$۴۲ = \alpha_c \times ۴/۲$$

طرفین تقسیم بر ضریب مجهول

$$\frac{۴۲}{۴/۲} = \frac{\alpha_c \times ۴/۲}{۴/۲}$$

$$\alpha_c = 10 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{c} \cdot \text{hr}}$$

مرحله ۵) در داده‌های مسأله تغییر واحد انجام

می‌دهیم.

$$Q = ۴۲ \times ۱۰۰۰ = ۴۲۰۰۰ \text{ cal}$$

$$t = ۴۵s$$

$$A = ۰/۵ \times ۱۰۰۰۰ = ۵۰۰۰ \text{ cm}^2$$

$$\theta_w = ۷۰^\circ \text{C}$$

$$\theta_F = ۲۵^\circ \text{C}$$

	<p> $Q = \alpha_c A (\theta_w - \theta_F)$ $42000 = \alpha_c \times 5000 (700 - 25) \times 45$ $42000 = \alpha_c \times 5000 \times 675 \times 45$ $42000 = \alpha_c \times 151875000$ $\alpha_c = \frac{42000}{151875000}$ </p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $\alpha_c = 0/000278 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}}$ </div> <p>می توان از راه دیگری $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{hr}}$ را به $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}}$ تبدیل کرد.</p> $\alpha_c = 10 \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{hr}}$ $\alpha_c = \frac{10 \times 1000}{10000 \times 3600}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin: 10px auto;"> $\alpha_c = 0/000278 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ \text{C} \cdot \text{s}}$ </div>
	<p> تمرین ۴۴-۱: بر روی یک ورق داغ به ابعاد 40×90 سانتی متر و دمای 35°C، هوایی به دمای 25°C دمیده می شود. مطلوبست: </p> <p> الف) محاسبه و تعیین حرارت کل انتقالی از روی سطح ورق مزبور در مدت ۳ ثانیه بر حسب کیلوژول. در صورتی که ضریب جابه جایی برابر $32 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ \text{C}}$ باشد. </p> <p> ب) اگر جنس ورق از فولاد ساده کربنی با ضریب هدایت حرارتی متوسط $40/6 \frac{\text{W}}{\text{m} \cdot \text{K}}$ و ضخامت 32mm باشد و مقدار 620 ژول انرژی از سطح ورق به طریق تشعشع (در هر ثانیه) تلف شده باشد، افت دما در ضخامت این ورق چه اندازه خواهد بود. حل (توسط هنرجو): </p>

	<p>تمرین ۴۵-۱: برای خنک کردن یک ورق فولادی گرم به ابعاد 45×70 سانتی‌متر و دمای 250°C، هوایی با دمای 25°C به مدت ۲۵ ثانیه روی آن دمیده می‌شود. اگر در این انتقال ضریب کنوکسیون $30 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ باشد، جریان حرارتی برحسب کیلووات چه اندازه خواهد بود؟ همچنین مقدار حرارت کل انتقالی را برحسب کیلوژول و کیلوکالری حساب کنید. حل (توسط هنرجو):</p>

	<p>تمرین ۴۶-۱: برای گرم کردن یک ورق آلومینیومی دایره‌ای شکل به شعاع 0.5m به دمای 10°C هوایی با دمای 300°C به مدت یک ساعت روی آن دمیده می‌شود، اگر ضریب کنوکسیون $40 \frac{\text{W}}{\text{m}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$ باشد مطلوبست محاسبه:</p> <p>الف - میزان حرارت انتقال یافته برحسب ژول</p> <p>ب - جریان حرارتی برحسب کیلووات</p> <p>حل (توسط هنرجو):</p>

<p>تمرین ۴۷-۱: یک دیواره مسطح به ابعاد $1/5 \text{ mm} \times 0/8 \text{ mm}$ با ضخامت 250 mm از آجر نسوز دارای ضریب هدایت حرارتی $\bar{k} = 1/4 \times 10^3 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$ و مفروض است. چنانچه دمای سطح گرم 125°C و سطح سرد 25°C باشد مطلوبست:</p> <p>الف) محاسبه مقدار گرمای انتقال یافته از دیواره در مدت $1/5$ دقیقه بر حسب ژول</p> <p>ب) شیب حرارتی دیواره بر حسب $\frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}}$</p> <p>حل (توسط هنرجو):</p>	<p>مثال ۲۵-۱: یک دیواره مسطح به ابعاد $20 \text{ cm} \times 50 \text{ cm}$ با ضخامت 20 cm از آجر نسوز دارای ضریب هدایت حرارتی $\bar{k} = 1/4 \times 10^3 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$ و مفروض است چنانچه دمای سطح گرم 120°C و سطح سرد 20°C باشد، مطلوبست:</p> <p>الف - مقدار گرمای انتقال یافته از دیواره در مدت 60 ثانیه بر حسب کالری</p> <p>ب - شیب حرارتی دیواره بر حسب $\frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}}$</p> <p>حل:</p> <p>مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها را به‌طور خلاصه می‌نویسیم.</p>

داده‌ها	خواسته‌ها
A ۲۰۰cm × ۵۰cm	Q ? cal
d ۲۰cm	
$\bar{k} \frac{1}{4} \times 10^3 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$	
$\theta_p 1200^\circ\text{C}$	
$\theta_1 200^\circ\text{C}$	
t ۶۰s	

مرحله ۲) به دست آوردن مساحت

$$A = 200 \times 50$$

$$A = 10000 \text{cm}^2$$

مرحله ۳) نوشتن رابطه انتقال حرارت مربوط به قسمت

الف:

$$Q = \frac{\bar{k} A (\theta_p - \theta_1) t}{d}$$

مرحله ۴) جای گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه فوق.

$$Q = \frac{1}{4} \times 10^3 \frac{10000 (1200 - 200) \times 60}{20}$$

مرحله ۵) محاسبات ریاضی.

$$Q = \frac{1}{4} \times 10^3 \times 10000 \times 1000 \times 60}{20}$$

$$Q = \frac{140000000}{20}$$

$$Q = 7000000 \text{cal}$$

مرحله ۶) نوشتن رابطه مربوط به قسمت ب:

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{\theta_p - \theta_1}{d}$$

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{1200 - 200}{20}$$

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{1000}{20}$$

$$\text{شیب حرارتی} = 50 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}}$$

تمرین ۴۸-۱: مشخصات یک جداره استوانه‌ای دولایه به شرح زیر می‌باشد مطلوبست محاسبه مقدار حرارت انتقال یافته در یک ساعت از این دیواره برحسب کالری و کیلوکالری.

D_1	۱/۶m	θ_1	۱۱۰°C
D_2	۱/۴m	θ_3	۱۳۰°C
D_3	۱/۲m	K_{eq}	$8 \times 10^{-3} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$
π	۳		
L	۱۱۰cm		

مثال ۲۶-۱: مشخصات یک کوره استوانه‌ای دولایه به شرح زیر می‌باشد مطلوبست محاسبه مقدار حرارت انتقال یافته در یک ساعت از این دیواره برحسب کالری و کیلوکالری.

D_1	۱۵۰cm	θ_1	۱۰۰°C
D_2	۱۳۰cm	θ_3	۱۱۰°C
D_3	۱۰۰cm	K_{eq}	$8 \times 10^{-3} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$
π	۳		
L	۱۲۰cm		

حل:

مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها را به‌طور خلاصه می‌نویسیم.

داده‌ها	خواسته‌ها
D_1 ۱۵۰cm	Q ? cal , kcal
D_2 ۱۳۰cm	
D_3 ۱۰۰cm	
π ۳	
L ۱۲۰	
θ_1 ۱۰۰°C	
θ_3 ۱۱۰°C	
t ۱h	
K_{eq} $8 \times 10^{-3} \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$	

مرحله (۲) تبدیل واحد. واحد زمان را از ساعت به

ثانیه تبدیل می‌کنیم.

$$t \quad 1h$$

$$t \quad 1 \times 3600s$$

$$t \quad 3600s$$

مرحله (۳) نوشتن رابطه مربوط به مسأله فوق

$$Q = \pi K_{eq} L t (\theta_3 - \theta_1)$$

	<p>مرحله ۴) جای گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه فوق.</p> $Q = 3 \times 8 \times 10^3 \times 120 \times (1100 - 100) \times 3600$ <p>مرحله ۵) محاسبات ریاضی را انجام می‌دهیم.</p> $Q = 3 \times 8 \times 10^3 \times 120 \times 1000 \times 3600$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Q 10368000cal</div> <p>اگر جواب را بر ۱۰۰۰ تقسیم کنیم، برحسب kcal خواهد بود.</p> $Q = \frac{10368000}{1000}$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">Q 10368kcal</div>
<p>تمرین ۴۹-۱: دیواره‌ی مسطح و یک لایه از آجرنسوز با ضریب هدایت حرارتی متوسط $\frac{W}{m \cdot ^\circ C} = 0.67$ با دمای $120^\circ C$ در یک سطح و $18^\circ C$ در سطح مقابل آن موجود است. اگر ضخامت دیواره ۹۰ mm باشد، مطلوبست:</p> <p>الف) گرمای منتقل شده در زمان ۱۸۰ s از سطح 120 cm^2 برحسب کالری.</p> <p>ب) شیب حرارتی این دیواره برحسب درجه سانتی‌گراد بر سانتی‌متر.</p> <p>حل (توسط هنرجو):</p>	<p>مثال ۲۷-۱: دیواره‌ی مسطح و یک لایه از آجرنسوز با ضریب هدایت حرارتی متوسط $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ C \cdot s} = 1/4 \times 10^3$ با دمای $115^\circ C$ در یک سطح و $15^\circ C$ در سطح مقابل آن موجود است. اگر ضخامت دیواره ۱۰ cm باشد مطلوبست:</p> <p>الف - گرمای منتقل شده در زمان ۲ دقیقه از سطح 100 cm^2 برحسب کالری</p> <p>ب - شیب حرارتی این دیواره برحسب درجه سانتی‌گراد بر سانتی‌متر.</p> <p>حل:</p> <p>مرحله ۱) داده‌ها و خواسته‌ها را به صورت خلاصه نوشته می‌شود</p>

خواسته‌ها	داده‌ها
	$\bar{k} \quad 1/4 \times 10^3 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$
$Q \quad ? \quad \text{cal}$	$\theta_p \quad 115^\circ\text{C}$
	$\theta_1 \quad 15^\circ\text{C}$
$? \quad \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}}$ شیب حرارتی	$d \quad 10\text{cm}$
	$t \quad 2\text{min}$
	$A \quad 100\text{cm}^2$

مرحله ۲) تبدیل واحد زمان از min به s

$$\begin{cases} t & 2\text{min} \\ t & 2 \times 60\text{s} \\ t & 120\text{s} \end{cases}$$

مرحله ۳) نوشتن رابطه انتقال حرارت به روش

هدایت

$$Q = \bar{k} \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d}$$

مرحله ۴) جای‌گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه.

$$Q = 1/4 \times 10^3 \frac{100 \times (115 - 15) \times 120}{10}$$

مرحله ۵) محاسبات ریاضی:

$$Q = \frac{1/4 \times 10^3 \times 100 \times 1000 \times 120}{10}$$

$$Q = \frac{16800}{10}$$

$$Q = 1680\text{cal}$$

مرحله ۶) نوشتن رابطه برای قسمت ب:

$$\text{شیب حرارتی} \quad \frac{\theta_p - \theta_1}{d}$$

$$\text{شیب حرارتی} \quad \frac{115 - 15}{10}$$

$$\frac{1000}{10} \text{ شیب حرارتی}$$

$$\boxed{\text{شیب حرارتی } \frac{100^\circ\text{C}}{\text{cm}}}$$

تمرین ۵۰-۱: دیواره‌ای مسطح از آجرنسوز با ضریب هدایت حرارتی متوسط $\frac{w}{m^2 \cdot ^\circ\text{C}} = 0.57$ با دمای 120°C در یک سطح و 120°C در سطح مقابل موجود است. اگر ضخامت دیواره 150 mm باشد مطلوبست:

الف) گرمای منتقل شده در زمان 240 s از سطح 120 cm^2 برحسب کالری

ب) هدایت حرارتی جداره (σ) برحسب $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$

ج) مقاومت حرارتی (R) برحسب $\frac{\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}{\text{cal}}$

حل (توسط هنرجو):

مثال ۲۸-۱: دیواره‌ای مسطح از آجرنسوز با ضریب هدایت حرارتی متوسط $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}} = \frac{1}{4} \times 10^3$ با دمای 115°C در یک سطح و 15°C در سطح مقابل موجود است. اگر ضخامت دیواره 10 cm باشد مطلوبست:

الف) گرمای منتقل شده در زمان 2 دقیقه از سطح 100 cm^2 برحسب کالری

ب) هدایت حرارتی جداره (σ) برحسب $\frac{w}{m^2 \cdot ^\circ\text{C}}$

ج) مقاومت حرارتی (R) برحسب $\frac{m^2 \cdot ^\circ\text{C}}{w}$

حل:

مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها را به‌طور خلاصه نوشته می‌شود.

داده‌ها	خواسته‌ها
$\bar{k} = \frac{1}{4} \times 10^3 \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$	
$\theta_p = 115^\circ\text{C}$	$Q = ? \text{ cal}$
$\theta_1 = 15^\circ\text{C}$	$\sigma = ? \frac{w}{m^2 \cdot ^\circ\text{C}}$
$d = 10 \text{ cm}$	$R = ? \frac{m^2 \cdot ^\circ\text{C}}{w}$
$t = 2 \text{ min}$	
$A = 100 \text{ cm}^2$	

مرحله (۲) تبدیل واحد: واحد زمان از دقیقه به ثانیه تبدیل می‌شود.

$$t = 2 \text{ min}$$

$$t = 2 \times 60 \text{ s}$$

$$t = 120 \text{ s}$$

مرحله ۳) نوشتن رابطه مربوط به قسمت الف:

$$Q = \bar{k} \frac{A(\theta_p - \theta_1)t}{d}$$

مرحله ۴) جای گذاری مقادیر داده‌ها در فرمول فوق

$$Q = \frac{1/4 \times 10^{-3} \times 100 \times (1150 - 150) \times 120}{10}$$

$$Q = \frac{1/4 \times 10^{-3} \times 1000 \times 1000 \times 120}{10}$$

$$Q = \frac{16800}{10}$$

$$Q = 1680 \text{ cal}$$

مرحله ۵) برای حل قسمت ب و ج، تبدیل واحد

دیگری خواهیم داشت. لذا واحد ضخامت دیواره از cm

به m و واحد \bar{k} از $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$ به $\frac{\text{w}}{\text{m} \cdot \text{c}}$

$$d = 10 \text{ cm}$$

$$d = 10 \times \frac{1}{100} \text{ m}$$

$$d = 0.1 \text{ m}$$

$$\bar{k} = \frac{1/4 \times 10^{-3} \text{ cal}}{\text{cm} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$$

داریم: $4/2 \text{ cal}$

$$\bar{k} = \frac{1/4 \times 10^{-3} \times \frac{4/2 \text{ j}}{100} \text{ m} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}{100}$$

$$\bar{k} = \frac{1/4 \times 10^{-3} \times 4200 \text{ j}}{\text{m} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$$

$$k = \frac{5/88 \text{ j}}{\text{m} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$$

صورت و مخرج واحد را بر S تقسیم می‌کنیم

$$\bar{k} = \frac{5/88 \text{ s}}{\text{m} \cdot \text{c} \cdot \text{s}}$$

$$\bar{k} = 5/88 \frac{W}{m \cdot ^\circ C}$$

مرحله ۶) نوشتن رابطه مربوط به قسمت ب:

$$\sigma = \frac{\bar{k}}{d}$$

$$\sigma = \frac{5/88}{0/1}$$

$$\sigma = 58/8 \frac{W}{m^2 \cdot ^\circ C}$$

مرحله ۷) نوشتن رابطه مربوط به قسمت ج:

$$R = \frac{d}{\bar{k}}$$

$$R = \frac{0/1}{5/88}$$

$$R = 0/017 \frac{m^2 \cdot ^\circ C}{W}$$

تمرین ۵۱-۱: درجه حرارت سطح داخلی و خارجی یک دیواره به ترتیب $1200^\circ C$ و $115^\circ C$ است. اگر ضخامت دیواره 100 mm باشد درجه حرارت در عمق 0.07 m از سطح سرد این دیواره را تعیین کنید. حل (توسط هنرجو):

مثال ۲۹-۱: درجه حرارت سطح داخلی و خارجی دیواره یک کوره به ترتیب $1225^\circ C$ و $125^\circ C$ است. اگر ضخامت دیواره 11 cm باشد درجه حرارت در عمق 5 cm از سطح سرد این دیواره را تعیین کنید. حل: مرحله ۱) داده‌ها و خواسته‌ها را به‌طور خلاصه نوشته می‌شود.

داده‌ها	خواسته‌ها
$\theta_p = 1225^\circ C$	$\theta' \text{ ? } ^\circ C$
$\theta_1 = 125^\circ C$	
$d = 11 \text{ cm}$	
$d' = 5 \text{ cm}$	

مرحله ۲) نوشتن رابطه شیب حرارتی

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{\theta_p - \theta_1}{d}$$

	<p>مرحله ۳) جای گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه فوق.</p> $\text{شیب حرارتی} \frac{1225 - 125}{11}$ $\text{شیب حرارتی} \frac{1100}{11}$ $\text{شیب حرارتی} \frac{100 - \text{°C}}{\text{cm}}$ <p>مرحله ۴) نوشتن رابطه شیب حرارتی در ضخامت d'، چون شیب حرارتی در هر نقطه دیواره ثابت است.</p> $\text{شیب حرارتی} \frac{\theta' - \theta_1}{d'}$ <p>* جای گذاری داده‌ها در رابطه</p> $\frac{100}{1} = \frac{\theta' - 125}{5}$ $100 \times 5 = (\theta' - 125) \times 1$ <p>معلوم‌ها یک طرف تساوی قرار می‌گیرند</p> $\theta' - 125 = 500$ $\theta' = 500 + 125$ <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; display: inline-block;">$\theta' = 625 \text{°C}$</div>
<p>تمرین ۵۲-۱: دیواره مسطح از آجرنسوز به ضخامت 0.45 m از یک طرف در دمای 1300°C و از طرف دیگر در دمای 180°C قرار دارد.</p> <p>الف) شیب حرارتی دیواره بر حسب درجه سانتی‌گراد بر سانتی‌متر</p> <p>ب) دما در فاصله 120 mm از سطح گرم آن حل (توسط هنجرو):</p>	<p>مثال ۳۰-۱: دیواره مسطح از آجرنسوز به ضخامت 30 cm از یک طرف در دمای 1400°C و از طرف دیگر در دمای 200°C قرار دارد.</p> <p>الف) شیب حرارتی دیواره بر حسب درجه سانتی‌گراد بر سانتی‌متر</p> <p>ب) دما در فاصله 10 سانتی‌متری از سطح گرم آن حل:</p> <p>مرحله ۱) داده‌ها و خواسته‌ها به‌طور خلاصه نوشته می‌شود.</p>

داده‌ها	خواسته‌ها
d ۳۰cm	$\theta' ? ^\circ\text{C}$
$\theta_p 1400^\circ\text{C}$	
$\theta_1 200^\circ\text{C}$	
$d' 10\text{cm}$	

مرحله ۲) رابطه شیب حرارتی برای قسمت الف نوشته می‌شود.

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{\theta_p - \theta_1}{d}$$

مرحله ۳) جای‌گذاری داده‌ها

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{1400 - 200}{30}$$

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{1200}{30}$$

$$\text{شیب حرارتی} = 40 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}}$$

مرحله ۴) با توجه به این‌که شیب حرارتی در تمام نقاط دیواره ثابت است بنابراین در ضخامت ۱۰ cm از رابطه شیب حرارتی استفاده می‌کنیم.

$$\text{شیب حرارتی در فاصله } 10\text{cm} = \frac{\theta_p - \theta'}{d'}$$

مرحله ۵) جای‌گذاری داده‌ها در رابطه فوق

$$\frac{40}{1} = \frac{1400 - \theta'}{10}$$

$$40 \times 10 = (1400 - \theta') \times 1$$

معلوم‌ها در یک طرف تساوی قرار می‌گیرند

$$400 = 1400 - \theta'$$

$$\theta' = 1400 - 400$$

$$\theta' = 1000^\circ\text{C}$$

تمرین ۵۳-۱: مشخصات و ابعاد یک جداره مسطح دولایه عبارتند از: $d_1 = 0.1m$ و $d_p = 1/4m$ و $A = 0.022m^2$ و $\theta_1 = 30^\circ C$ و $\theta_3 = 85^\circ C$ و $k_1 = 1/6 \times 10^3 \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$ و $k_p = 2/4 \times 10^3 \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$

$$k_1 = 1/6 \times 10^3 \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$$

$$k_p = 2/4 \times 10^3 \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$$

با توجه به معلومات داده شده مطلوبست:

(الف) ضریب هدایت حرارتی جداره برحسب $\frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$
 (ب) مقدار حرارت انتقال یافته در ۱۵ دقیقه برحسب کالری

(ج) شدت جریان حرارتی برحسب (W)
 حل (توسط هنجو):

مثال ۳۱-۱: مشخصات و ابعاد یک جداره مسطح دولایه عبارتند از: $d_1 = 8cm$ و $d_p = 12cm$ و $A = 200cm^2$

$$k_1 = 1/6 \times 10^3 \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$$

$$k_p = 2/4 \times 10^3 \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$$

$\theta_1 = 25^\circ C$ و $\theta_3 = 825^\circ C$ و $k_1 = 1/6 \times 10^3 \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$ و $k_p = 2/4 \times 10^3 \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$

با توجه به معلومات داده شده مطلوبست:

(الف) ضریب هدایت حرارتی جداره برحسب $\frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$
 (ب) مقدار حرارت انتقال یافته در ۲۰ دقیقه برحسب کالری

(ج) شدت جریان حرارتی برحسب (W)
 حل:

مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها را به‌طور خلاصه همراه با واحدها می‌نویسیم.

داده‌ها	خواسته‌ها
$d_1 = 8cm$	$K_{eq} ? \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$
$d_p = 12cm$	
$A = 200cm^2$	$Q ? cal$
$\theta_1 = 25^\circ C$	
$\theta_3 = 825^\circ C$	
$t = 20min$	$q ? w$
$k_1 = 1/6 \times 10^3 \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$	
$k_p = 2/4 \times 10^3 \frac{cal}{cm \cdot ^\circ C \cdot s}$	

مرحله (۲) تبدیل واحد زمان از دقیقه به ثانیه
 $t = 20min$

$$t \quad 20 \times 60 \text{ s}$$

$$t \quad 1200 \text{ s}$$

مرحله ۳) نوشتن رابطه K_{eq} برای دیواره مسطح
چندلایه برای قسمت الف

$$K_{eq} = \frac{d}{\frac{d_1}{k_1} + \frac{d_p}{k_p}}$$

داریم $d = d_1 + d_p$

$$d = 8 + 12$$

$$d = 20 \text{ cm}$$

مرحله ۴) در رابطه K_{eq} مقادیر داده‌ها را قرار

می‌دهیم

$$K_{eq} = \frac{20}{\frac{8}{1/6 \times 10^{-3}} + \frac{12}{2/4 \times 10^{-3}}}$$

مرحله ۵) محاسبات ریاضی رابطه:

$$K_{eq} = \frac{20}{5000 + 5000}$$

$$K_{eq} = \frac{20}{10000}$$

$$K_{eq} = 0.002 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$$

مرحله ۶) نوشتن رابطه انتقال حرارت به روش

هدایت برای دیواره دولایه (قسمت ب)

$$Q = K_{eq} \frac{A(\theta_2 - \theta_1)t}{d}$$

مرحله ۷) جای گذاری داده‌ها در رابطه فوق.

$$Q = 0.002 \frac{2000(825 - 25) \times 1200}{20}$$

	$Q = \frac{0/002 \times 2000 \times 800 \times 1200}{20}$ $Q = \frac{384000}{20}$ <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">Q 19200 cal</div> <p>در اینجا کالری را به ژول تبدیل می‌کنیم</p> $1 \text{ cal} = 4/2 \text{ J}$ $Q = 19200 \times 4/2$ $Q = 80640 \text{ J}$ <p>مرحله ۸) نوشتن رابطه شدت جریان حرارتی برای قسمت ج</p> $q = \frac{Q}{t}$ $Q = \frac{80640}{1200}$ <div style="border: 1px solid black; display: inline-block; padding: 2px;">Q 67/2 W</div>
<p>تمرین ۵۴-۱: دیواره‌ای مسطح از آجرنسوز به ضخامت ۲۵ cm از یک طرف در دمای ۱۲۵°C و از طرف دیگر در دمای ۲۲۵°C قرار دارد در صورتی که از هر مترمربع آن در هر دقیقه ۱۶۰ kJ گرما عبور کند مطلوبست:</p> <p>الف) ضریب هدایت حرارتی دیواره برحسب $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$ چقدر می‌شود</p> <p>ب) شیب حرارتی دیواره را برحسب $\frac{\text{C}}{\text{cm}}$ حساب کنید.</p> <p>حل (توسط هنرجو):</p>	<p>مثال ۳۲-۱: دیواره‌ای مسطح از آجرنسوز به ضخامت ۲۰ cm از یک طرف در دمای ۱۲۰°C و از طرف دیگر در دمای ۲۰۰°C قرار دارد در صورتی که از هر مترمربع آن در دقیقه ۴۲ کیلوکالری گرما عبور کند مطلوبست:</p> <p>الف) ضریب هدایت حرارتی دیواره برحسب $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{C} \cdot \text{s}}$</p> <p>ب) شیب حرارتی دیواره برحسب $(\frac{\text{C}}{\text{cm}})$</p> <p>حل:</p> <p>مرحله ۱) داده‌ها و خواسته به‌طور خلاصه نوشته می‌شود.</p>

داده‌ها	خواسته‌ها
$d \quad ۲۰\text{cm}$	$K \quad ? \quad \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$
$\theta_p \quad ۱۲۰۰^\circ\text{C}$	
$\theta_1 \quad ۲۰۰^\circ\text{C}$	شیب حرارتی $? \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}}$
$q_e \quad ۴۲ \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{min}}$	

مرحله ۲) تبدیل واحد: واحد q_e از $\frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{min}}$ به $\frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$ تبدیل می‌کنیم.

$$q_e \quad ۴۲ \frac{\text{kcal}}{\text{m}^2 \cdot \text{min}}$$

$$q_e \quad ۴۲ \frac{۱۰۰۰\text{cal}}{۱۰۰۰۰\text{cm}^2 \times ۶۰\text{s}}$$

$$q_e \quad \frac{۴۲ \times ۱۰۰۰ \text{ cal}}{۱۰۰۰۰ \times ۶۰ \text{ cm}^2 \cdot \text{s}}$$

$$q_e \quad \frac{۴۲}{۶۰۰}$$

$$q_e \quad ۰/۰۷ \frac{\text{cal}}{\text{cm}^2 \cdot \text{s}}$$

مرحله ۳) نوشتن رابطه q_e شدت جریان حرارتی مخصوص برای قسمت الف:

$$q_e \quad k \frac{(\theta_p - \theta_1)}{d}$$

مرحله ۴) جای‌گذاری داده‌ها در رابطه

$$۰/۰۷ \quad \frac{k(۱۲۰۰ - ۲۰۰)}{۱ \quad ۲۰}$$

$$۰/۰۷ \quad \frac{k \times ۱۰۰۰}{۱ \quad ۲۰}$$

رابطه را طرفین و وسطین می‌کنیم

$$(k \times ۱۰۰۰) \times ۱ \quad ۰/۰۷ \times ۲۰$$

$$k \times ۱۰۰۰ \quad ۱/۴$$

طرفین رابطه را بر ضریب k تقسیم می کنیم

$$\frac{k \times 1 \phi \phi \phi}{1 \phi \phi \phi} = \frac{1/4}{1000}$$

$$k = 1/4 \times 10^3 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c.s}}$$

مرحله ۵) نوشتن رابطه شیب حرارتی برای قسمت ج

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{\theta_2 - \theta_1}{d}$$

مرحله ۶) جای گذاری داده ها در رابطه

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{1200 - 200}{20}$$

$$\text{شیب حرارتی} = \frac{1000}{20}$$

$$\text{شیب حرارتی} = 50 \frac{^\circ\text{C}}{\text{cm}}$$

تمرین ۵۵-۱: مشخصات یک کوره استوانه‌ای دولایه به شرح زیر می‌باشد با توجه به معلومات داده شده مطلوبست:

D_1 ۱۸۰۰mm	L ۱/۵m
D_2 ۱۴۰۰mm	k_1 ۰/۰۰۳ $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c.s}}$
D_3 ۱۱۰cm	K_{eq} ۶×۱۰ ^۳ $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c.s}}$
θ_1 ۱۱۰°C	
θ_3 ۱۲۰۰°C	
π ۳	

الف) مقدار حرارت انتقال یافته در ۰/۵ ساعت از این دیواره برحسب کالری و کیلوکالری
 ب) درجه حرارت در فصل مشترک دولایه برحسب درجه سانتی‌گراد.
 حل (توسط هنرجو):

مثال ۳۳-۱: مشخصات یک کوره استوانه‌ای دولایه به شرح زیر می‌باشد با توجه به معلومات داده شده مطلوبست:

D_1 ۱۵۰cm	K_{eq} ۸×۱۰ ^۳ $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c.s}}$
D_2 ۱۳۰cm	
D_3 ۱۰۰cm	k_1 ۰/۰۰۲ $\frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot \text{c.s}}$
θ_1 ۱۰۰°C	
θ_3 ۱۱۰۰°C	
π ۳	
L ۱۲۰cm	

الف) مقدار حرارت انتقال یافته در ۶۰ دقیقه از این دیواره برحسب کالری و کیلوکالری
 ب) درجه حرارت در فصل مشترک دولایه برحسب درجه سانتی‌گراد.

حل: مرحله (۱) داده‌ها و خواسته‌ها به‌طور مختصر

نوشته می‌شود.

خواسته‌ها	داده‌ها
	$D_1 \quad 150\text{cm}$
	$D_p \quad 130\text{cm}$
$Q \quad ? \quad \text{cal}$	$D_s \quad 100\text{cm}$
	$\theta_1 \quad 100^\circ\text{C}$
	$\theta_s \quad 1100^\circ\text{C}$
$Q \quad ? \quad \text{kcal}$	$\pi \quad 3$
	$L \quad 120\text{cm}$
	$t \quad 60\text{min}$
$\theta_p \quad ? \quad ^\circ\text{C}$	$k_1 \quad 0/002 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$
	$K_{eq} \quad 8 \times 10^2 \frac{\text{cal}}{\text{cm} \cdot ^\circ\text{C} \cdot \text{s}}$

مرحله (۲) تبدیل واحد: واحد زمان از دقیقه به ثانیه

تبدیل می‌شود.

$$t \quad 60\text{min}$$

$$t \quad 60 \times 60\text{s}$$

$$t \quad 3600\text{s}$$

مرحله (۳) نوشتن رابطه انتقال حرارت به روش

هدایت در دیواره استوانه‌ای دولایه برای قسمت الف.

$$Q \quad \pi K_{eq} L t (\theta_s - \theta_1)$$

مرحله (۴) جای‌گذاری داده‌ها در رابطه فوق.

$$Q \quad 3 \times 8 \times 10^2 \times 120 \times 3600 (1100 - 100)$$

$$Q \quad 3 \times 8 \times 10^2 \times 120 \times 3600 \times 1000$$

$$Q \quad 10368000\text{cal}$$

* برای تبدیل cal به kcal مقدار Q را بر ۱۰۰۰

تقسیم می‌کنیم.

$$Q = 10368000 \div 1000$$

$$Q = 10368 \text{ kcal}$$

مرحله ۵) نوشتن رابطه انتقال حرارت برای لایه ۱ و قرار دادن Q حساب شده.

$$Q = \frac{\pi k_1 L t}{\frac{D_1}{D_1 + D_p} (\theta_p - \theta_1)}$$

مرحله ۶) جای گذاری مقادیر داده‌ها در رابطه فوق

$$10368000 = \frac{3 \times 0.002 \times 120 \times 3600}{\frac{150 - 130}{150 + 130}} (\theta_p - 100)$$

$$10368000 = \frac{2592 (\theta_p - 100)}{280}$$

$$\frac{10368000}{1} = \frac{2592 \theta_p - 2592 \times 100}{0.07}$$

عبارت فوق را طرفین و وسطین می‌کنیم

$$2592 \theta_p - 259200 = 10368000 \times 0.07$$

معلوم‌ها در یک طرف تساوی قرار می‌گیرند

$$2592 \theta_p = 725760$$

طرفین تساوی را بر ضریب مجهول تقسیم می‌کنیم

$$\frac{2592 \theta_p}{2592} = \frac{725760}{2592}$$

$$\theta_p = 280^\circ \text{C}$$